



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

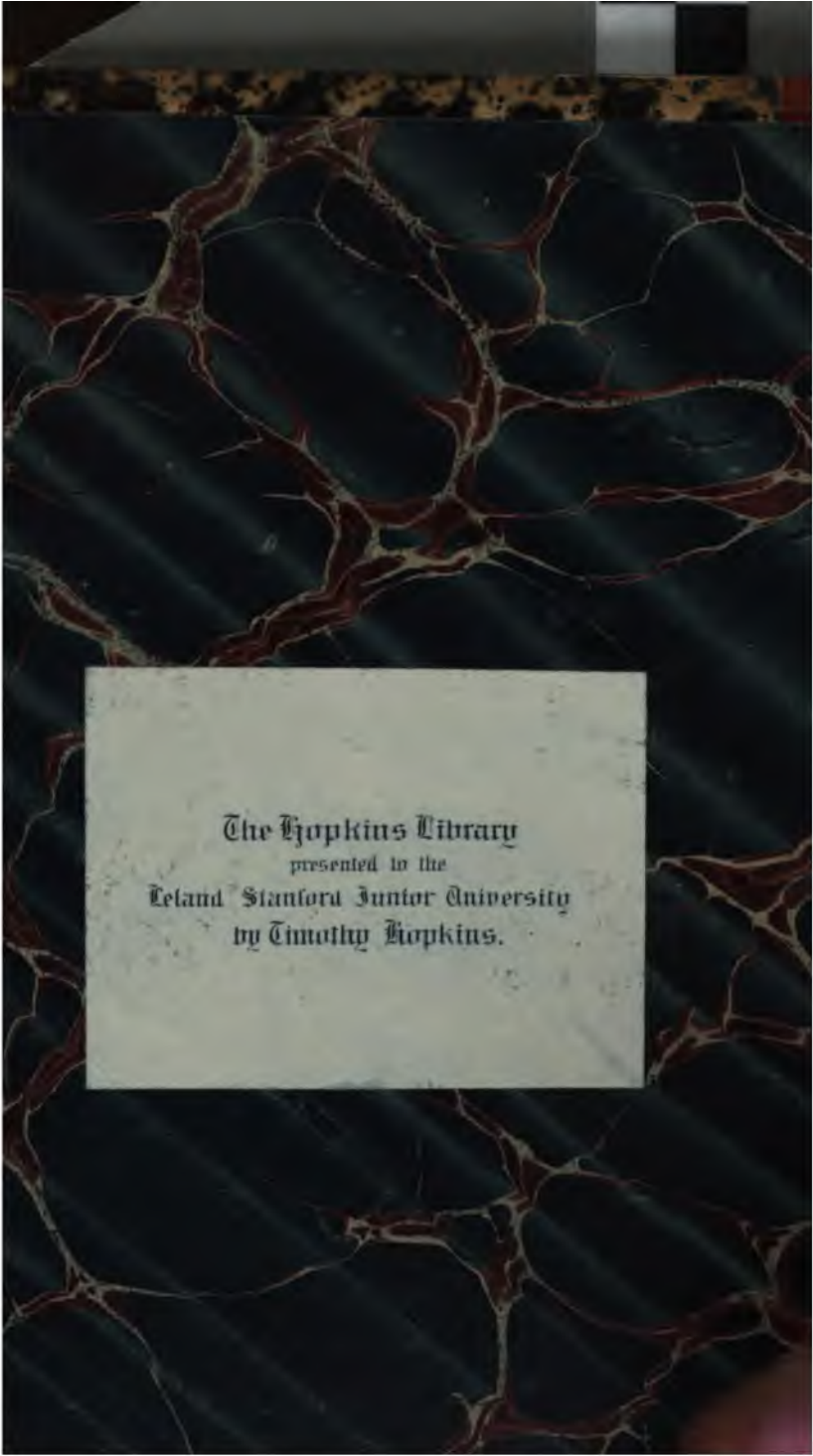
Stanford University Libraries



6105 126 586 572

LIBRARY OF THE
Leland Stanford Junior University

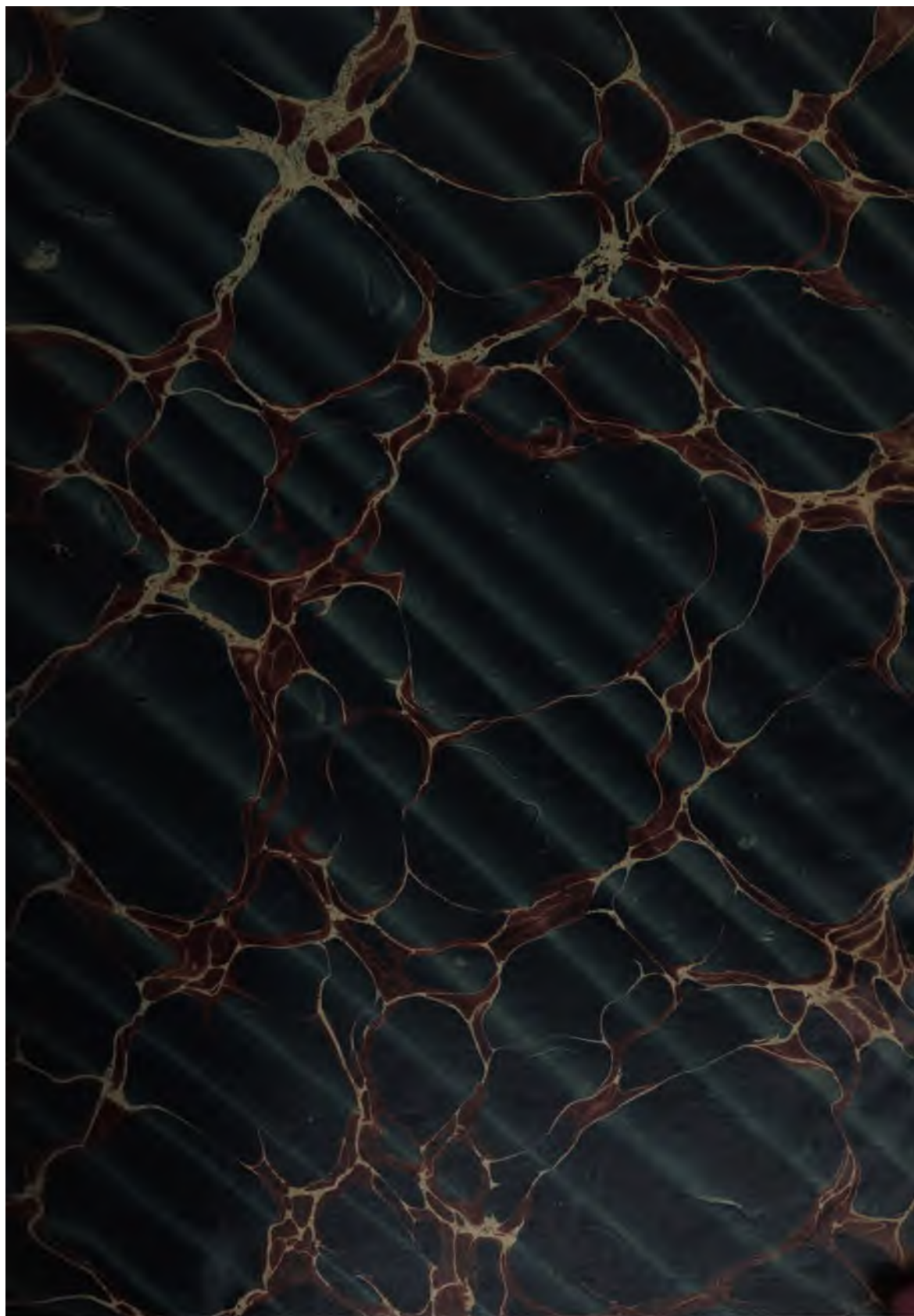
NOT TO BE TAKEN OUT OF THE LIBRARY

The image shows the front cover of a book. The cover is decorated with a dark green or black background and a complex, organic marbled pattern in shades of red, brown, and cream. A rectangular, off-white paper label is pasted in the center of the cover. The label contains text in a black, serif font. The text is centered and reads: 'The Hopkins Library' on the first line, 'presented to the' on the second line, 'Leland Stanford Junior University' on the third line, and 'by Timothy Hopkins.' on the fourth line. The top edge of the book shows a sliver of a different material, possibly a lighter-colored marbled paper or cloth.

The Hopkins Library
presented to the
Leland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.

HERBERT
Broadway
N. Y. C.

The Hopkins Library
presented to the
Yeland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.



.734c

(H)

CONGRÈS INTERNATIONAL DES CHEMINS DE FER

TROISIÈME SESSION

PARIS : 14 AU 23 SEPTEMBRE 1889

COMPTÉ RENDU GÉNÉRAL

PREMIER VOLUME

454

CONGRÈS INTERNATIONAL
DES
CHEMINS DE FER

TROISIÈME SESSION

PARIS : 14 AU 23 SEPTEMBRE 1889

COMPTÉ RENDU GÉNÉRAL

PREMIER VOLUME

BRUXELLES
P. WEISSENBRUCH, IMPRIMEUR DU ROI
45, RUE DU POINÇON, 45

1890



741186

AVANT-PROPOS



Le système adopté par la Commission internationale pour la publication des comptes rendus des deux premières sessions du Congrès a été également suivi dans le présent compte rendu de la troisième session.

Chacune des questions forme donc encore une monographie comprenant successivement l'exposé, la discussion en section, la discussion en séance plénière et les annexes.

Un chapitre spécial placé à la fin du compte rendu renseigne les diverses communications ou motions qui ont été faites dans les sections et qui ne se rattachent à aucun article du questionnaire.

Comme conséquence de la méthode adoptée, chaque partie du compte rendu a sa table et sa pagination propres. Mais pour faciliter les recherches, le numéro de la question se trouve rappelé en caractères romains en tête de chaque page, au-dessus du chiffre arabe indiquant la pagination.



RÈGLEMENT DE LA TROISIÈME SESSION

La troisième session du Congrès international des chemins de fer s'est tenue dans les conditions indiquées aux articles 10 à 16 des statuts de l'Association, reproduits ci-après ⁽¹⁾ :

ART. 10. — Le Congrès se réunit tous les deux ans. Dans chaque session, il désigne le lieu et la date de la session suivante.

En cas d'empêchement imprévu, la Commission internationale peut modifier ces dispositions.

ART. 11. — Ont le droit de prendre part aux sessions du Congrès :

- 1° Les membres de la Commission internationale;
- 2° Les délégués désignés par les adhérents;
- 3° Les secrétaires et le trésorier, ainsi que les secrétaires de section nommés par la Commission ou par son Comité et chargés de l'exposé des questions du programme.

Les Gouvernements fixent eux-mêmes le nombre de leurs délégués.

Les Administrations de chemins de fer peuvent nommer des délégués au nombre de huit au plus, suivant l'étendue de leur réseau, à savoir :

Deux délégués pour les exploitations ne dépassant pas 100 kilomètres;

Trois délégués pour les exploitations ne dépassant pas 500 kilomètres, et

Un délégué en plus par groupe de 500 kilomètres ou par fraction de 500 kilomètres en plus.

ART. 12. — A l'ouverture de chaque session, le bureau de la Commission

⁽¹⁾ Voir le texte complet des statuts dans le *Compte rendu général de la deuxième session* (Milan, 1887), p. I-17.

internationale remplit les fonctions de bureau provisoire, et le Congrès procède immédiatement à l'élection de son bureau, composé :

- 1° D'un ou de plusieurs présidents d'honneur ;
- 2° D'un président ;
- 3° De vice-présidents ;
- 4° Des présidents de section, en conformité de l'article 14 ;
- 5° D'un secrétaire général ;
- 6° De secrétaires.

Le premier délégué de chaque Gouvernement est de droit vice-président.

Tous les membres du bureau sont nommés pour une session.

L'élection a lieu dans les conditions indiquées à l'article 16, alinéa 6 :

Les fonctions des membres du bureau sont celles déterminées par les règles en usage dans les assemblées délibérantes pour la direction des débats.

ART. 13. — A l'ouverture de chaque session et après la formation du bureau, le Congrès se divise en sections (voies et travaux, traction et matériel, exploitation, questions d'ordre général, etc.).

Un membre peut s'inscrire à la fois dans plusieurs sections.

Le Congrès peut aussi constituer des commissions spéciales.

ART. 14. — Chaque section nomme son président, son secrétaire principal et ses secrétaires. Les présidents de section sont, de droit, membres du bureau de la session.

Les sections et les commissions se dissolvent à la fin de chaque session.

ART. 15. — Les discussions du Congrès portent sur les questions inscrites au programme de la session.

Ce programme est arrêté par la Commission internationale; il y est tenu compte des indications résultant des délibérations du précédent Congrès et de ses sections.

La Commission reçoit les propositions des adhérents; un rapporteur désigné par la Commission rédige un exposé sommaire et sans conclusions des éléments de chaque question, ainsi que l'analyse des documents qui lui ont été transmis.

ART. 16. — Les discussions ont lieu en français ou dans la langue du pays où se tient le Congrès. Des interprètes traduisent en français les discours prononcés dans une autre langue.

Les procès-verbaux et les comptes rendus sont rédigés en français, mais les orateurs ont le droit d'exiger la reproduction de leurs déclarations originales en regard de la traduction.

Les discussions ont lieu d'abord en sections.

Les bureaux des sections rédigent un résumé des débats formulant les diverses opinions émises dans la section. Après approbation par la section, ces résumés sont présentés à l'assemblée plénière et insérés dans le procès-verbal, en y ajoutant, s'il y a lieu, la mention des opinions nouvelles émises au sein de l'assemblée plénière.

Le Congrès n'émet de votes qu'en ce qui concerne les questions relatives au règlement ou se rattachant à l'organisation de l'institution.

Les votes sur ces questions spéciales ont lieu à la majorité des membres assistant au Congrès. Il est procédé au vote par assis et levé; s'il existe un doute sur le résultat du vote, il est passé au scrutin. Le vote par appel nominal n'a lieu que s'il en est fait la demande par douze assistants.

QUESTIONNAIRE

N. B. — *Le libellé des questions ou des parties de questions qui ont déjà fait l'objet des discussions de la session précédente (Milan, 1887) est précédé d'un astérisque (*)*.

1^{re} SECTION. — VOIES ET TRAVAUX.

I

QUALITÉS D'ACIERS DES RAILS ET DES ACCESSOIRES DE LA VOIE.

A. *Qualités du métal des rails.* — Résultats acquis par l'emploi de métal de qualités différentes pour les rails et les accessoires de la voie; chercher à déterminer, dans chaque cas, celle à laquelle il faut donner la préférence.

B. *Usure des rails d'acier.* — Lois qui règlent l'usure des rails d'acier.

II

MOYENS D'ATTACHE DES RAILS AUX TRAVERSES ET DES RAILS ENTRE EUX.

A. *Comparaison des voies à double bourrelet et des voies Vignoles.* — Quels avantages et quels inconvénients l'emploi des voies avec rails à coussinets et celui des voies avec rails à large base offrent-ils respectivement :

1^o Pour les lignes à fort trafic, parcourues par de nombreux express;

2^o Pour les lignes à mouvement ordinaire?

B. *Fixation des rails Vignoles aux traverses en bois.* — Quels sont les meilleurs modes de fixer les rails Vignoles aux traverses en bois? Exposer notamment, avec faits à l'appui, les avantages et les inconvénients: 1^o des tire-fond, 2^o des crampons.

C. *Éclissage des rails.* — Quelles sont les dispositions adoptées pour l'éclissage des rails et quelles peuvent être les améliorations à y apporter?

D. *Lignes parcourues par des trains rapides.* — Dispositions propres à assurer la stabilité de la voie sur les lignes parcourues par des trains à grande vitesse.

III

POSE DE LA VOIE SUR LES PONTS MÉTALLIQUES. — Pour la pose de la voie sur les ponts métalliques *avec interposition de bois*, doit-on donner la préférence au système sur longrines ou à celui sur traverses?

Quels sont, notamment au point de vue de la sécurité, les avantages et les inconvénients qui résultent de la non-interposition du bois?

IV

MANŒUVRE A DISTANCE DES CHANGEMENTS DE VOIE. — Examen des différents systèmes de manœuvre à distance des appareils de changement de voie.

V

ÉCHANGE DES VOITURES A VOYAGEURS ENTRE DEUX VOIES PARALLÈLES. — Quelles sont les meilleures conditions à employer pour l'échange rapide des voitures à voyageurs entre deux voies parallèles (plaques, chariots à niveau ou à fosse, aiguilles)?

VI

VENTILATION DES GRANDS TUNNELS. — Conditions pour une bonne ventilation naturelle.
Ventilation artificielle (moyens pour l'obtenir, dépenses qu'elle occasionne).
Ventilation complète du tunnel. Ventilation partielle des chambres de sûreté et des niches. Appareils mobiles pour fournir de l'air au personnel des trains et de la voie.

VII

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES DE LA 1^{re} SECTION. — Examen des formulaires de renseignements techniques à recueillir en vue d'une nouvelle session du Congrès, sur :

*A. *Les ponts métalliques.* — Description sommaire des principaux types de

ponts métalliques; nature et résistance des différents matériaux employés dans leur construction.

B. *Les bris de rails*. — Relevé des bris de rails; emplacement des cassures par rapport aux appuis et à la direction de la marche des trains.

*C. *L'entretien des voies métalliques*. — Frais d'entretien courant des voies posées respectivement sur traverses métalliques et sur billes en bois.

2^e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

VIII

MATÉRIEL ROULANT. — Quels sont les moyens que l'expérience semble indiquer comme les plus efficaces pour faciliter le passage du matériel roulant dans les courbes? Exposer les avantages et les inconvénients des bogies, boîtes radiales, trains Bissel, etc., en tenant compte des diverses circonstances de l'exploitation et de la nature de la ligne.

IX

VARIATION DE L'ÉCARTEMENT DES ROUES. — Est-il possible, sur les voies internationales à écartements différents (russes et espagnoles, par exemple), de faire passer les mêmes véhicules, soit en changeant les essieux par une méthode simple et rapide, soit au moyen d'une construction spéciale des wagons, soit par tout autre moyen?

X

*PRINCIPE COMPOUND. — De l'application du principe compound aux locomotives.

XI

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ. — Étudier les applications les plus récentes de l'électricité à l'exploitation des chemins de fer, particulièrement en ce qui concerne :

2^e et 3^e sections réunies.

*A. L'éclairage des trains et des gares;

*B. Le freinage des trains;

C. La soudure et la brasure des métaux, notamment pour les travaux de réparation du matériel roulant.

XII

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES DE LA 2^e SECTION. — Examen des formulaires des renseignements techniques à recueillir en vue d'une nouvelle session du Congrès, sur :

A. *Les bandages*. — Étude des bandages tant des voitures et des wagons que des locomotives : nature, composition, conditions de montage, conditions de fourniture, consommation, etc;

B. *Les tubes à fumée des locomotives*;

3^e session.

C. *L'utilisation du matériel roulant*. — Parcours moyen journalier des voitures à voyageurs des diverses classes; rapport du nombre des places offertes à celui des places occupées; parcours moyen journalier des wagons à marchandises des diverses catégories; temps moyen employé par chaque wagon pour l'exécution d'un transport complet; charge utile de chaque véhicule à marchandises par catégories, etc.;

*D. *La production de la vapeur*. — Comparaison des renseignements techniques relatifs à la consommation du combustible dans les locomotives;

*E. *Le graissage des locomotives*. — Comparaison des renseignements techniques relatifs au graissage des locomotives.

3^e SECTION. — EXPLOITATION.

XIII

4^e session.

POIDS MORT DES TRAINS. — Moyens à employer pour réduire le rapport du poids mort des trains à la charge utile qu'ils transportent et influence que peut avoir, sur les conditions économiques de l'exploitation, l'augmentation du tonnage des wagons à marchandises.

XIV

5^e session.

*ORGANISATION DES TRAINS DE MARCHANDISES. — Organisation du service des trains de marchandises suivant la nature et l'importance du trafic, au point de vue tant de la vitesse des transports que de la bonne utilisation des installations fixes, du matériel roulant et de la puissance des machines.

XV

*MANŒUVRES DE GARE. — Différents systèmes de manœuvre des wagons dans les gares. Valeur économique des manœuvres par locomotives, par la gravité, par plaques tournantes, par transbordeurs, par cabestans, par chevaux, etc.

XVI

1^{re} et 3^e sections réunies. } GARES A VOYAGEURS A GRAND TRAFIC. — Quelles sont les meilleures dispositions à recommander pour l'aménagement des grandes gares à voyageurs, en vue d'assurer un trafic très intense sur le moindre espace possible (dispositions des voies, des quais et des bâtiments)?

XVII

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES DE LA 3^e SECTION. — Examen des formulaires de renseignements techniques à recueillir en vue d'une nouvelle session du Congrès, sur :

A. *L'utilisation des installations des gares.* — Longueur des voies de chargement et de déchargement des gares rapportée au nombre de tonnes embarquées et débarquées par an; longueur des voies de formation de trains rapportée au nombre total de wagons manœuvrés par an; longueur des quais de hangars à marchandises rapportée au nombre de tonnes embarquées et débarquées à couvert par an, etc.; appareils et dispositions pouvant faciliter les opérations de chargement et de déchargement (chariots, grues fixes et mobiles et autres moyens spéciaux, pour la houille, le blé et les matières sèches en général); leur capacité de travail rapportée au nombre de tonnes par an.

B. *L'utilisation du personnel des gares.* — Nombre d'agents employés à la distribution des coupons de voyageurs rapporté au nombre de voyageurs embarqués annuellement; nombre de gardes-excentriques, manœuvres, chefs manœuvres employés à la formation des trains rapporté au nombre des wagons manœuvrés par an; nombre de facteurs, chefs ouvriers et ouvriers employés au service des grosses marchandises rapporté au nombre de tonnes embarquées et débarquées annuellement; nombre d'agents employés aux écritures dans les bureaux de marchandises rapporté au nombre d'expéditions faites annuellement, etc.

4^e SECTION. — QUESTIONS D'ORDRE GÉNÉRAL.

XVIII

CHEMINS DE FER ET VOIES NAVIGABLES. — Situation respective des chemins de fer et des voies navigables au point de vue des impôts et des charges diverses qui, dans les différents pays de l'Europe, pèsent sur les transports effectués par l'un ou l'autre de ces modes de communication.

XIX

*RELATIONS INTERNATIONALES. — Moyens de faciliter les relations internationales en ce qui concerne les transports des voyageurs et de leurs bagages.

XX

PRIMES AU PERSONNEL. — Moyens d'intéresser les agents aux économies dans les dépenses d'exploitation et à l'augmentation des recettes.

XXI

*INSTITUTIONS DE PRÉVOYANCE. — Institutions spéciales de prévoyance en faveur des employés et des ouvriers de chemin de fer.

XXII

1. 2^e se.
1. 2^e se.
1. 2^e se.) *COMPOSITION DES TRAINS DE VOYAGEURS. — Composition des trains de voyageurs.
/ Nombre de classes.

XXIII

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES DE LA 4^e SECTION. — Examen des formulaires de renseignements techniques à recueillir en vue d'une nouvelle session du Congrès, sur :

A. *La valeur conventionnelle des diverses unités de transport.* — Valeur comparative des unités employées dans la comptabilité et la statistique des transports par les diverses Administrations de chemins de fer;

B. *Le prix de revient des unités de transport ;*

C. *Le coefficient d'exploitation.* — Classification des recettes et des dépenses.

5^e SECTION. — CHEMINS DE FER SECONDAIRES.

XXIV

*WAGONS A MARCHANDISES DES CHEMINS DE FER SECONDAIRES. — Quelle est la charge utile dont doivent être capables les wagons à marchandises des chemins de fer secondaires ?

XXV

TRACTION DES CHEMINS DE FER SECONDAIRES.

*A. Quel est le meilleur emploi, dans les chemins de fer secondaires, des principaux moteurs et modes de traction spéciaux (moteurs électriques, à air comprimé, à eau chaude, à soude, à gaz ; système de traction à crémaillère, à câble continu, etc.) ?

B. Lequel de ces systèmes se recommande particulièrement pour les chemins de fer à forte rampe, et par quelles raisons ?

XXVI

*TRANSBORDEMENT DES MARCHANDISES. — Quels sont les derniers résultats des essais des divers systèmes de transbordement des marchandises entre les lignes d'écartements différents (dispositifs à fosses, caisses mobiles et wagons-trucks) ?

XXVII

AFFERMAGE DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER SECONDAIRES.

A. Convient-il que l'exploitant fournisse ou ne fournisse pas le matériel roulant ? Dans le premier cas, comment tenir compte de cet élément et déterminer la rémunération qui lui revient ?

B. Quel est le meilleur système de contrat à passer entre le cessionnaire de la ligne et le fermier d'exploitation ?

XXVIII

CHEMINS DE FER SUR ROUTES OU TRAMWAYS A VAPEUR.

A. Quelles sont les conditions techniques d'établissement et les conditions d'exploitation des chemins de fer sur routes ou tramways à vapeur?

B. Quelles sont les dispositions législatives qui les concernent et la réglementation à laquelle ils sont soumis dans les différents pays?

MEMBRES DU CONGRÈS ⁽¹⁾

(ART. 11 DES DISPOSITIONS STATUTAIRES ET RÉGLEMENTAIRES)

A. — Commission internationale ⁽²⁾.

Président :

M. FASSIAUX, secrétaire général du département des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique.

Vice-présidents :

MM. BELPAIRE, administrateur des chemins de fer de l'État belge ;

PICARD, président de la section des travaux publics au conseil d'État français.

Membres :

MM. ALMGREN (FREDRIK), administrateur des chemins de fer de l'État suédois ;

AMBROZOVICS* (BELA), conseiller ministériel au ministère royal des travaux publics et des communications de Hongrie ;

BARABANT, directeur de la Compagnie française des chemins de fer de l'Est ;

BERGER*, administrateur inspecteur général des ponts et chaussées de Belgique ;

BLAGE, directeur de la Compagnie française des chemins de fer du Midi ;

BORGINI* (le commandeur), ingénieur, directeur général de la Société italienne des chemins de fer de l'Adriatique ;

BRIOSCHI (le commandeur FRANÇOIS), sénateur du royaume d'Italie ;

CENDRE, directeur des chemins de fer de l'État français ;

(1) Les membres dont le nom est suivi d'un astérisque (*) n'ont pas été présents au Congrès.

(2) Les membres dont le nom est précédé du signe x ont été adjoints temporairement à la Commission, en vue de l'organisation de la troisième session (art. 5 des statuts de l'Association).

MM. DE BRUYN, ministre de l'agriculture, de l'industrie et des travaux publics de Belgique ;

DIETLER, ingénieur, directeur de la Société du chemin de fer suisse du Gothard ;

DUBOIS, administrateur des chemins de fer de l'État belge ;

DUTREUX (TONY), ingénieur civil, membre de la Chambre des députés du grand-duché de Luxembourg ;

FAIRBAIRN (SIR ANDREW), ancien membre du Parlement anglais, administrateur du Great Northern Railway ;

***GAY**, conseiller d'État, directeur des chemins de fer au ministère des travaux publics de France ;

GRIOLET, vice-président du conseil d'administration de la Compagnie française des chemins de fer du Nord ;

***HATON DE LA GOUPILLIÈRE**, directeur de l'École nationale des mines de France ;

***HEURTEAU**, directeur de la Compagnie française du chemin de fer d'Orléans ;

JEITTELES (RICHARD), conseiller aulique, président de la direction du chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand ;

LAGRANGE, directeur de l'École nationale des ponts et chaussées de France ;

LAMAL, directeur général des ponts et chaussées de Belgique ;

LEBER (VON), inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer de l'Autriche ;

***LEVEL**, directeur de la Société française des chemins de fer économiques ;

***MARIN**, directeur de la Compagnie française des chemins de fer de l'Ouest ;

MASSA (le commandeur M.), ingénieur, directeur général de la Société italienne des chemins de fer de la Méditerranée ;

***MATHIAS**, ingénieur, chef de l'exploitation de la Compagnie française des chemins de fer du Nord ;

***MENCHE DE LOISNE**, inspecteur général des ponts et chaussées de France, directeur du contrôle du chemin de fer de Paris à Orléans ;

***NOBLEMAIRE**, directeur de la Compagnie française des chemins de fer de la Méditerranée ;

MM. PERL (LOUIS DE), conseiller d'État, directeur gérant du service international de la Grande Société des chemins de fer russes;

PERUZZI* (le commandeur UBALDINO), député au Parlement d'Italie;

PHILIPPE, inspecteur général des lignes nord-belges;

PINHEIRO* (FERNANDES), ingénieur, chef de la commission du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics du Brésil en Europe et aux États-Unis;

PRISSE (le baron), directeur gérant honoraire du chemin de fer belge d'Anvers à Gand;

RATTI (le commandeur GAETAN), ingénieur, vice-directeur général de la Société italienne des chemins de fer de la Méditerranée;

THIELEN*, président de la direction royale de Hanovre des chemins de fer de l'État prussien;

×TOURNERIE (DE LA), inspecteur général des ponts et chaussées de France, directeur du contrôle des chemins de fer français de la Méditerranée;

URBAN (JULES), directeur général du chemin de fer Grand Central Belge;

VAN KERKWIJK, membre de la seconde Chambre des États-Généraux des Pays-Bas;

×VILLIERS (DE) DU TERRAGE, inspecteur général des ponts et chaussées de France, directeur du contrôle des chemins de fer de l'Ouest français;

WERCHOWSKY, conseiller d'État actuel au ministère des voies de communication de l'empire de Russie, ingénieur, directeur du département des chemins de fer russes.

Secrétaire général :

M. DE LAVELEYE (AUGUSTE¹), ingénieur.

Secrétaire :

M. KESTELOOT (EUGÈNE), chef de division au département des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique.

Secrétaires adjoints :

MM. HOLEMANS (ÉDOUARD), chef de division au même département;

WEISSENBRUCH (LOUIS), ingénieur au même département.

B. — Comité de direction.

Président :

M. FASSIAUX, ci-dessus désigné.

Membres :

MM. BELPAIRE, ci-dessus désigné ;

BRIOSCHI, —

DE BRUYN, —

DE LAVELEYE, —

FAIRBAIRN, —

GRIOLET, —

Secrétaire :

M. KESTELOOT (EUGÈNE), ci-dessus désigné.

Secrétaire adjoint :

M. WEISSENBRUCH (LOUIS), ci-dessus désigné.

Trésorier :

M. HOLEMANS (ÉDOUARD), ci-dessus désigné.

Membre correspondant à Paris :

M. BRAME (PAUL).

C. — Rapporteurs nommés par la Commission internationale.

MM. AMBROZOVICS* (BÉLA), conseiller ministériel au ministère des travaux publics et des communications de Hongrie ;

AMIOT, ingénieur en chef au chemin de fer français de Paris-Lyon-Méditerranée ;

BANDERALI, ingénieur, chef du service central du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord français ;

MM. BEMELMANS, ingénieur en chef, inspecteur de direction au chemin de fer de l'État belge ;

BIGNAMI (O.), ingénieur, directeur de la Société du chemin de fer italien Torino-Cirié-Lanzo ;

BLANQUAERT, ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel au chemin de fer de l'État belge ;

BONNEAU, ingénieur, sous-chef de l'exploitation au chemin de fer français de Paris-Lyon-Méditerranée ;

BRICKA, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la voie et des bâtiments au chemin de fer de l'État français ;

BRIERE, ingénieur en chef de la voie au chemin de fer français de Paris à Orléans ;

BRUNEEL, ingénieur au chemin de fer de l'État belge ;

CAIRO, ingénieur, chef de section à la direction générale de la Société italienne des chemins de fer méridionaux (réseau adriatique) ;

CANDELLERO, ingénieur, chef de section au service de l'entretien, de la surveillance et des travaux aux chemins de fer italiens de la Méditerranée ;

CERVINI, ingénieur, chef du bureau des études du matériel roulant à la Société italienne des chemins de fer de la Méditerranée ;

COLSON (CLÉMENT), ingénieur des ponts et chaussées, maître des requêtes au conseil d'État français ;

COSSMANN, ingénieur au service technique de l'exploitation du chemin de fer du Nord français ;

DE BURLET (CONSTANTIN), directeur général de la Société nationale belge des chemins de fer vicinaux ;

DE BUSSCHERE, ingénieur en chef au chemin de fer de l'État belge ;

DE LAVELEYE (GEORGES), membre du comité d'administration du chemin de fer du Congo ;

ELY*, ingénieur en chef du matériel et de la traction au railway de Pensylvanie ;

FINDLAY (G.), directeur général du « London and North-Western Railway » ;

GÉRARD (ERNEST), ingénieur, chef du cabinet du Ministre des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique ;

- MM. GOFFIN**, ingénieur en chef, directeur des voies et travaux au chemin de fer de l'État belge ;
- HODEIGE**, ingénieur au chemin de fer de l'État belge ;
- HOHENEGGER**, ingénieur, directeur des travaux au chemin de fer Nord-Ouest autrichien et jonction Sud-Nord allemande ;
- HUBERT**, ingénieur en chef, inspecteur de direction au chemin de fer de l'État belge ;
- KOWALSKI**, ingénieur, chef du service central de l'exploitation aux chemins de fer algériens de Bône-Guelma et prolongements ;
- LARMINAT (DE)**, ingénieur des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation au chemin de fer de l'Ouest français ;
- LEBER (VON)**, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer au Ministère du commerce de l'Autriche ;
- LEFÈVRE (POL)**, sous-chef du mouvement à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest français ;
- LEVEL (E.)**, directeur de la Société générale française des chemins de fer économiques ;
- MESTREIT (GABRIEL)**, ingénieur en chef de la Société française des chemins de fer économiques du nord de la France ;
- MICHEL (JULES)**, ingénieur en chef, adjoint du service de la voie au chemin de fer français de Paris-Lyon-Méditerranée ;
- MICHELET (G.)**, administrateur de la Société générale belge des chemins de fer secondaires ;
- PARENT**, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer de l'État français ;
- PERL (LOUIS DE)**, conseiller d'État, directeur gérant du service international à la Grande Société des chemins de fer russes ;
- PICHON**, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur principal de l'exploitation au chemin de fer du Midi français ;
- PIÉRON**, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord français ;
- RANDICH (EUG.)**, ingénieur à la Société italienne des chemins de fer méridionaux (réseau adriatique) ;

MM. ROCCA* (J.), sous-inspecteur à la direction générale de la Société italienne des chemins de fer de la Méditerranée ;

SABOURET, ingénieur du service central de la voie au chemin de fer français de Paris à Orléans ;

SARTIAUX (EUG.), chef du service télégraphique au chemin de fer du Nord français ;

WEISSENBRUCH (LOUIS), ingénieur au ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique.

D. — Délégués des Gouvernements et des Administrations de chemins de fer adhérents.

I. — ALLEMAGNE.

Chemin de fer de Weimar-Géra. — M. ERNEST KOHL*, conseiller de construction, directeur.

II. — ARGENTINE (RÉPUBLIQUE).

Gouvernement argentin. — M. ORTIZ VIOLA, premier secrétaire de la légation de la République Argentine à Paris.

Grand chemin de fer central Sud-Américain. — MM. ÉDOUARD OTLET, vice-président du conseil d'administration ; FERNAND GUILLON, ingénieur, membre du conseil d'administration.

III. — AUTRICHE-HONGRIE.

Gouvernement austro-hongrois :

a) *Ministère du commerce, à Vienne.* — M. MAXIMILIEN VON LEBER, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer de l'Autriche.

b) *Ministère du commerce, à Budapest.* — M. JULES DE LUDWIG, conseiller ministériel et président de la direction des chemins de fer de l'État hongrois.

c) *Chemins de fer de l'État autrichien.* — MM. le D^r FERDINAND ZEHETNER, conseiller aulique I. et R. ; ARTHUR OELWEIN, inspecteur en chef ; le D^r VICTOR RÖLL, inspecteur supérieur.

d) *Chemins de fer de l'État hongrois*. — MM. JULES DE LUDWICH, conseiller ministériel, président-directeur; CONRAD WEISZ, inspecteur principal du matériel et des ateliers; JULES PERNER, inspecteur.

Chemins de fer de l'État (Société autrichienne-hongroise privilégiée des). — *Pour les services communs* : MM. F.-L. RASPI, conseiller aulique I. et R., secrétaire général de la Société; M. le chevalier ADOLPHE BOGUSZ DE ZIEMBLIC, inspecteur général, chef d'exploitation des chemins de fer commerciaux de Bohême. — *Pour les lignes autrichiennes* : MM. A.-W. DE SERRES, directeur-président du réseau autrichien; SIGISMOND KOMARNICKI, ingénieur en chef du matériel et de la traction et membre du comité de direction. — *Pour les lignes hongroises* : MM. CHARLES DE HIERONYMI, directeur-président du réseau hongrois; ALBERT DREXLER, inspecteur général, membre du comité de direction de Budapest.

Chemins de fer unis d'Arad et de Csanad. — MM. SIGISMOND DE BOHUS, vice-président; JEAN DE PURGLY, vice-président; BENI DE BOROS, conseiller royal, député au Parlement hongrois, ingénieur, directeur général.

Chemin de fer d'Arad-Temesvar ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Charles-Louis de Galicie. — MM. le Dr baron VON SOCHOR DE FRIEDRICHSTHAL, conseiller aulique I. et R., directeur général; ROBERT EISNER, conseiller impérial, inspecteur supérieur.

Chemin de fer de Kaschau-Oderberg. — M. PIERRE RATH, directeur général.

Chemin de fer de Lemberg-Czernowitz-Jassy, y compris les lignes roumaines. — MM. EM.-A. ZIFFER, membre du conseil d'administration; ANT.-P. KÜHNELT*, secrétaire général.

Chemins de fer de Mohacs-Fünfkirchen et Fünfkirchen-Barcs. — *Pour le chemin de fer de Mohacs-Fünfkirchen* : M. le comte VICTOR DE WIMPFEN, administrateur, vice-président de la Compagnie I. et R. de navigation sur le Danube. — *Pour le chemin de fer de Fünfkirchen-Barcs* : M. le chevalier JULES DE HERZ, membre du conseil d'administration. — *Pour les deux chemins de fer réunis* : M. ÉMILE DE THALY*, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer central Moravien-Silésien. — M. FRANÇOIS GRÜNEBAUM, membre du conseil d'administration.

(1) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemin de fer de Nagy-Kikinda à Nagy-Becskerek. — MM. COLOMAN DE GULÄCSY, administrateur délégué; LOUIS DEUTSCH*, administrateur.

Chemin de fer du Nord de la Bohême. — M. le vicomte ARTHUR DE MAISTRE*, conseiller I. et R., directeur général.

Chemin de fer Nord Empereur Ferdinand. — MM. JOSEPH HÖNIGSVALD, conseiller impérial, conseiller d'administration; ALFRED VON LENZ, conseiller d'administration; RICHARD JEITTELES, conseiller aulique, président de la direction; D^r ANTOINE BEZECNY, conseiller de régence, secrétaire général.

Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et jonction Sud-Nord allemande. — MM. ACHILLE THOMMEN, conseiller supérieur de la construction, membre du conseil d'administration; Chevalier HERMAN VON RITTERSHAUSEN, directeur de l'exploitation; VENCESLAS HOHENEGGER, ingénieur, directeur des travaux.

Chemin de fer de l'Ouest de la Bohême. — MM. le chevalier CHARLES DE HORNOSTEL, membre du conseil d'administration; le chevalier HENRI DE FARSCH, inspecteur général et directeur de l'exploitation; le chevalier D^r ANGELO DE KUH, secrétaire général.

Chemin de fer du Sud de l'Autriche. — MM. ADOLPHE DE SCHREINER, conseiller aulique I. et R., secrétaire général; CHARLES PRENNINGER, directeur de la construction et de la voie; CHARLES PACKENY*, directeur du service commercial; OSCAR SCHÜLER, ingénieur et inspecteur principal de l'exploitation.

Chemin de fer de Szamosvölgy. — M. SIGMUND PÉTERFI*, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer de Vinkovce à Bréka. — MM. COLOMAN DE GULÄCSY, administrateur délégué; le chevalier ERNEST DE LINDHEIM*, administrateur.

IV. — BELGIQUE.

Gouvernement belge :

a) *Ministère des chemins de fer, postes et télégraphes.* — M. FASSIAUX, secrétaire général du ministère des chemins de fer, postes et télégraphes.

Chemins de fer de l'État. — MM. BELPAIRE, administrateur; DUBOIS, administrateur; RAMAECKERS, ingénieur en chef, directeur de l'exploitation; BLANCQUAERT, ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel;

GOFFIN, ingénieur en chef, directeur des voies et travaux; EUGÈNE BEMELMANS, ingénieur en chef, inspecteur de direction; HUBERT, ingénieur en chef, inspecteur de direction; LOUIS DE BUSSCHERE, ingénieur en chef; ERNEST GÉRARD, ingénieur, chef du cabinet du Ministre des chemins de fer, postes et télégraphes; ARTHUR HODEIGE, ingénieur; BRUNEEL, ingénieur.

Chemins de fer concédés en exploitation (Service de surveillance des). — MM. LENOIR, ingénieur en chef, directeur d'administration; GUSTAVE BRAET, ingénieur.

b) *Ministère de l'agriculture, de l'industrie et des travaux publics* (administration des ponts et chaussées: chemins de fer en construction). — MM. LAMAL, directeur général; BERGER*, administrateur, inspecteur général; LÉON DE ROTE, ingénieur en chef, directeur du service des chemins de fer en construction; A. DETHIEU, ingénieur principal, attaché au service des chemins de fer en construction.

Chemin de fer d'Anvers à Gand. — MM. P. OPPENHEIM, président du conseil d'administration; ED. PRISSE, directeur gérant.

Chemin de fer d'Anvers à Rotterdam. — MM. MONTEFIORE-LÉVY*, administrateur; ALBERT URBAN, ingénieur, chef de service, directeur.

Chemin de fer de Braine-le-Comte à Gand. — M. GUSTAVE BOËL, administrateur, directeur gérant.

Chemin de fer de Chimay. — MM. LICOT DE NISMES, président du conseil d'administration; EUGÈNE DOGNÉE, administrateur.

Chemin de fer de l'Entre-Sambre-et-Meuse. — MM. ADOLPHE STOCLET*, administrateur; EUGÈNE BELLEROCHÉ, ingénieur, chef de service.

Chemin de fer de l'Est belge. — MM. GUSTAVE HARTEN, ingénieur, chef de service; ERNEST DE HENNIN, chef de service.

Chemin de fer de la Flandre occidentale. — MM. E. RUFFER, président du conseil d'administration; RADCLIFFE*, membre du conseil d'administration; VAN DEN BOGAERDE*, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer de Gand-Eecloo-Bruges. — MM. ALFRED NEELEMANS, administrateur; LOUIS NEELEMANS, directeur gérant.

Chemin de fer de Gand à Terneuzen. — MM. O. GROVERMAN, président du conseil d'administration; M. MONNOM, directeur gérant.

Chemin de fer Grand Central Belge. — MM. JULES URBAN, directeur général; MAURICE URBAN*, ingénieur en chef, directeur; V. DESPRET, ingénieur en chef, directeur; CHARLES LEBON, ingénieur en chef, directeur.

Chemin de fer de Hasselt à Maeseyck. — MM. AMAND FOCQUET, administrateur délégué; NOISIER, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer de Liège à Maestricht. — MM. A. NIEUWENHUYNS, administrateur; A. CLERMONT, directeur gérant.

Chemin de fer de Malines à Terneuzen. — MM. ALBERT VAN DEN BROECK, président du conseil d'administration; V. LAMQUET, ingénieur, directeur gérant.

Chemin de fer du Nord (lignes nord-belges). — MM. PHILIPPE, inspecteur général; GEOFFROY, ingénieur du matériel de la traction; BERNARD, ingénieur de la voie.

Chemin de fer du Nord de la Belgique. — MM. BAYENS, administrateur délégué; ALPHONSE MATTHEÏ, directeur de l'atelier central du chemin de fer Grand Central Belge.

Chemin de fer de Tavier à Embresin. — MM. ZAMAN*, concessionnaire; ALPHONSE HUBERTI, ingénieur, professeur à l'université de Bruxelles.

Chemin de fer de Termonde à Saint-Nicolas. — MM. ARMAND DRESSE, président du conseil d'administration; ANCIEN, ingénieur.

Chemins de fer de Tournai à Jurbise et de Landen à Hasselt. — M. JOSEPH DUWEZ, ingénieur.

Chemins de fer vicinaux (Société nationale des). — MM. WELLENS, vice-président; CONSTANTIN DE BURLET, directeur général; LE BRUN, secrétaire général.

Chemins de fer économiques (Société générale de). — MM. J. JACOBS, ingénieur, administrateur; LÉOPOLD WIENER, administrateur; HECTOR DE BACKER, ingénieur honoraire des mines, directeur général.

Chemins de fer économiques de Liège-Seraing et extensions. — MM. ÉMILE DUPONT, membre de la Chambre des représentants de Belgique, président du conseil d'administration; DUPONT-RUCLOUX, administrateur délégué; PAUL BOURGEOIS, directeur

Chemins de fer secondaires (Compagnie générale de). — MM. GUSTAVE MICHELET, ingénieur, administrateur délégué; ALPHONSE SPÉE, ingénieur, adjoint à l'administrateur délégué; FRANZ PHILIPPSON, administrateur.

Compagnie auxiliaire internationale de chemins de fer. — MM. ÉMILE DE LAVELEYE, professeur à l'université de Liège; baron ED. DE GIENANTH, directeur.

Compagnie internationale des wagons-lits et des grands express européens. — MM. GEORGES NAGELMACKERS, administrateur, directeur général; ALBERT LECHAT*, sous-directeur; SCHROEDER*, inspecteur général.

V. — BRÉSIL.

Gouvernement brésilien (Ministère des travaux publics, du commerce et de l'agriculture). — M. YORGE RADEMAKER-GRUNWALD, ingénieur.

Chemins de fer brésiliens (Compagnie générale de). — MM. A. DURIEUX, administrateur; G. CROIZÉ DE POURCELET, secrétaire de la Compagnie.

Chemin de fer sud-brésilien Rio-Grande do Sul. — M. FERNANDES PINHEIRO*, ingénieur, chef de la commission du Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics du Brésil en Europe et aux États-Unis; ARTHUR ALVIN, ingénieur, chef du service de la voie du chemin de fer Don Pedro II.

VI. — BULGARIE.

Gouvernement bulgare (Ministère des finances, direction des travaux publics : chemins de fer de l'État). — MM. P. NICOLOFF, ingénieur, directeur des chemins de fer; P. POPPOFF*, directeur des travaux publics.

VII. — CHILI.

Gouvernement chilien (Département des chemins de fer) ⁽¹⁾.

VIII. — CONGO (ÉTAT INDÉPENDANT DU).

Gouvernement. — M. le capitaine A. THYS, officier d'ordonnance de S. M. le roi des Belges, directeur général de la Compagnie du chemin de fer du Congo.

Chemin de fer du Congo. — MM. le capitaine A. THYS, administrateur, directeur général de la Compagnie; G. DE LAVELEYE, membre du comité

(¹) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

d'administration; JEAN COUSIN, ingénieur honoraire des ponts et chaussées, membre du comité d'administration.

IX. — DANEMARK.

Gouvernement danois (Ministère des travaux publics : chemins de fer de l'État). — MM. HOLST*, directeur général; BAYER*, directeur du service technique; HARALD ELBEN, lieutenant-colonel, ingénieur en chef; TEGNER, ingénieur en chef des chemins de fer en construction.

Chemin de fer de l'Est de Seeland. — MM. C.-F. TIETGEN*, conseiller d'État intime, président de la Compagnie; J. HANSEN, secrétaire de la Compagnie.

Chemin de fer de la Fionie méridionale ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Lolland-Falster. — MM. C.-F. TIETGEN*, conseiller d'État intime, président de la Compagnie; C. LARSEN, chef de l'exploitation; J. HANSEN, secrétaire de la Compagnie.

X. — ÉGYPTE.

Gouvernement égyptien. — M. SCANDER BEY FAHMY, chef du mouvement des chemins de fer de l'État égyptien.

Chemins de fer de l'État. — M. SCANDER BEY FAHMY, chef du mouvement.

XI. — ESPAGNE.

Gouvernement espagnol. — MM. AMADO DE LAZARO Y FIGUERAS, inspecteur général des chemins de fer, canaux et ports; ROGELIO INCHAURRANDIETA Y PAER, ingénieur en chef.

Chemins de fer andalous. — MM. TIMMERMAN, administrateur délégué; A. DELAPERRIERE, ingénieur-conseil.

Chemins de fer de l'Est de l'Espagne. — MM. le baron H. DE PFEFFEL, administrateur délégué; GUSTAVE KUMPS, ingénieur.

Chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante. — MM. LUIS DE TORRES VILDOSOLA, vice-président du conseil d'administration; RAFAEL CLEMENTE, administrateur; CIPRIANO SEGUNDO MONTESINO, Duque de la Victoria, directeur général;

(1) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

CHARLES GRÉBUS, ingénieur en chef, sous-directeur de la Compagnie; VICENTE QUÉROL, sous-directeur commercial; ALBERT LÉVI-ALVARÈS, ingénieur-conseil, secrétaire général du comité de Paris; RENÉ LISLE, inspecteur général des comptabilités.

Chemins de fer du Nord de l'Espagne. — MM. ÉMILE PEREIRE, président du comité de Paris; ERNEST POLACK, administrateur; BIXIO, administrateur; BIAREZ, ingénieur en chef du service central, à Paris; WALDMANN, sous-directeur de la Compagnie, à Madrid; GRASSET*, ingénieur en chef de la voie et des travaux, à Madrid; RIBERA, sous-chef du mouvement, à Madrid; B. PEYROUTON, ingénieur des arts et manufactures, inspecteur principal du matériel de la voie, à Madrid.

Chemins de fer et mines de San Juan de las Abadesas. — MM. FÉLIX MACIA Y BONAPLATA*, directeur gérant; DOMINGO VÉHIL Y ESTRADER*, chef de l'exploitation.

Chemins de fer de Tarragone à Barcelone et à la France. — MM. CLAUDIO PLANAS, directeur gérant; MANUEL DE ARAMBURU Y PELAYO, ingénieur en chef des ponts et chaussées d'Espagne, chef de l'exploitation.

XII. — ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Pennsylvania Railroad ⁽¹⁾.

Chemins de fer et lignes de bateaux à vapeur et paquebots système Plant. — M. ARTHUR C. JACKSON, membre de l'Académie nationale agricole, manufacturière et commerciale.

XIII. — FRANCE ET COLONIES.

A. — FRANCE.

Gouvernement français :

a) *Ministère des travaux publics.* — MM. ALFRED PICARD, président de la section des travaux publics, de l'agriculture, du commerce et de l'industrie au conseil d'État français; GAY, conseiller d'État, directeur des chemins de fer au ministère des travaux publics; GUILLEMAIN, directeur de l'école nationale des ponts et chaussées; HATON DE LA GOUPILLIÈRE, directeur de

(1) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

l'école nationale des mines; CENDRE, directeur des chemins de fer de l'État; DE LA TOURNERIE, inspecteur général des ponts et chaussées, président du comité d'exploitation technique des chemins de fer au ministère des travaux publics; MENCHE DE LOISNE, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle du chemin de fer d'Orléans; DE VILLIERS DU TERRAGE, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer de l'Ouest; WORMS DE ROMILLY, ingénieur en chef des mines, attaché au service du contrôle des chemins de fer de la Méditerranée; METZGER, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la direction des chemins de fer et au service du contrôle du réseau du Midi; VIOLETTE DE NOIRCARME, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la direction des chemins de fer et au service du contrôle du réseau de l'État; HAILLOT, général de division, chef d'état-major du ministère de la guerre, président de la commission militaire supérieure de la guerre; le colonel LEPLUS, chef du 4^e bureau de la guerre.

b) *Ministère du commerce et de l'industrie.* — MM. ALFRED PICARD, président de la section des travaux publics, de l'agriculture, du commerce et de l'industrie au conseil d'État français; POIRRIER, sénateur, président de la chambre de commerce de Paris, membre du comité consultatif des chemins de fer; HIELARD, membre de la chambre de commerce de Paris et du comité consultatif des chemins de fer; MARCILHACY, membre de la chambre de commerce de Paris et du comité consultatif des chemins de fer; NICOLAS*, conseiller d'État, directeur du commerce intérieur; EUGÈNE MARIE, directeur du commerce extérieur; A. GOTTSCHALK, ingénieur civil, membre du comité consultatif et du comité de l'exploitation technique des chemins de fer; ERNEST PONTZEN, ingénieur civil, membre du comité de l'exploitation technique des chemins de fer; DONNAT, ingénieur, membre du conseil municipal de Paris.

Chemins de fer de l'État. — MM. HENRY DUPORTAL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur; JULES LAX, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur; CENDRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur; MATROT, ingénieur en chef des mines, chef de l'exploitation; BRICKA, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la voie et des bâtiments; PARENT, ingénieur en chef du matériel et de la traction; HUGUET, ingénieur en chef attaché à la direction.

Chemins de fer de ceinture de Paris. — MM. ARNAUD, directeur; DUBOIS, sous-directeur; AUGUSTE MORIN, chef du mouvement.

Chemin de fer de Chauny à Saint-Gobain. — M. A. BIVER*, directeur.

Chemins de fer de l'Est. — MM. BARABANT, directeur de la Compagnie; CONNESSON, chef adjoint de l'exploitation; ALBERT JACQMIN, inspecteur général de l'exploitation; PICARD, chef du mouvement; SALOMON, ingénieur en chef du matériel et de la traction; DIEUDONNÉ, ingénieur du matériel roulant; SIEGLER, ingénieur en chef adjoint de la voie; GUILLAUME, ingénieur principal du matériel fixe; CELLER, ingénieur en chef de la construction.

Chemins de fer de l'Est de Lyon. — M. V. STOCLET, administrateur.

Chemins de fer du Midi. — MM. BLACÉ, directeur de la Compagnie; GLASSER*, sous-directeur de la Compagnie; MAURER, ingénieur principal attaché à la direction; MOFFRE, ingénieur attaché à la direction; DAMAS, chef de l'exploitation; MILLET, ingénieur en chef du matériel et de la traction; LAURENT, ingénieur des ateliers; CHORON, ingénieur en chef de la voie et des lignes nouvelles; CAZES, ingénieur du matériel de la voie.

M. PICHON, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur principal de l'exploitation, rapporteur.

Chemins de fer à voie étroite du Midi. — MM. FRANÇOIS EMPAIN, administrateur, directeur général.

Chemin de fer de Naix à Guë (Saint-Dizier). — MM. CH. KÜSS*, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du contrôle; A. ALIX*, directeur de l'exploitation.

Chemins de fer du Nord. — MM. LÉON SAY, vice-président du conseil d'administration; GRIOLET, vice-président du conseil d'administration; A. SARTIAUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef de l'exploitation; FERDINAND MATHIAS, ingénieur en chef du matériel et de la traction; BOUCHER, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef des travaux et de la surveillance; DU BOUSQUET, ingénieur, inspecteur principal de la traction; BRICOGNE, ingénieur, chef du matériel roulant; AGNELLET, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur principal des services centraux des études, du matériel, des voies et des bâtiments; CONTAMIN, ingénieur du matériel des voies.

MM. BANDERALI, ingénieur, chef du service central du matériel et de la traction, rapporteur; COSSMANN, ingénieur au service technique de l'exploitation, rapporteur; PIÉRON, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur de la voie, rapporteur; EUG. SARTIAUX, chef du service télégraphique, rapporteur.

Chemins de fer de l'Ouest. — MM. MARIN, directeur de la Compagnie; CLERC, directeur des travaux; ERNEST MAYER, ingénieur en chef, conseil; CLÉRAULT, ingénieur en chef du matériel et de la traction; MORLIÈRE, ingénieur en chef de l'entretien et de la surveillance; BOUISSOT, ingénieur du matériel fixe; MORANDIÈRE, ingénieur des études du matériel et de la traction; P. CHARDON, chef adjoint de l'exploitation.

MM. DE LARMINAT, ingénieur des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation, rapporteur; POL LEFÈVRE, sous-chef du mouvement, rapporteur.

Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. — MM. NOBLEMAIRE, directeur de la Compagnie; RENÉ PICARD, chef de l'exploitation; BERQUET, sous-chef de l'exploitation; EIFFEL, ingénieur; DENIS, ingénieur en chef adjoint; HENRY, ingénieur en chef du matériel et de la traction; BAUDRY, ingénieur en chef adjoint; CHABAL, ingénieur principal adjoint à la division du matériel; GEOFFROY, ingénieur en chef du service de la construction.

MM. AMIOT, ingénieur en chef, rapporteur; BONNEAU, ingénieur, sous-chef de l'exploitation, rapporteur; MICHEL, ingénieur en chef adjoint de la voie, rapporteur.

Chemins de fer de Paris à Orléans. — MM. HEURTEAU, directeur de la Compagnie; COURRAS, secrétaire général; CAZAVAN, ingénieur-conseil; ROUGIER, directeur des travaux; PADER, chef de l'exploitation; POLONCEAU, ingénieur en chef du matériel et de la traction; NIGOND, sous-chef de l'exploitation; ÉMILE SOLACROUP, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction; HÉRARD, ingénieur des services techniques de l'exploitation.

MM. BRIÈRE, ingénieur en chef de la voie, rapporteur; SABOURET, ingénieur du service central de la voie, rapporteur.

Chemins de fer du Périgord. — MM. Fd. CAZE, président du conseil d'administration; Ed. EMPAIN, administrateur-directeur général; CHARLIER, ingénieur, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer de Somain à la frontière belge (Mines d'Anzin). — MM. GUARY, directeur général; HUEZ, chef de l'exploitation.

Chemins de fer du Sud de la France. — MM. FÉLIX MARTIN, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur; HIPPOLYTE BOBIN, directeur adjoint, chargé de l'exploitation.

Chemins de fer départementaux. — MM. ZENS, administrateur-directeur ; LABBE, secrétaire général ; FOQUET, directeur ; A. COSTE, ingénieur en chef.

Chemins de fer économiques (Société générale des). — MM. ALBERT ELLISSEN, administrateur ; le comte FLORIAN DE KERGORLAY, administrateur ; ÉMILE LEVEL, directeur.

Chemins de fer économiques du Nord. — MM. VICTOR MESTREIT, directeur ; GABRIEL MESTREIT, ingénieur en chef.

Chemin de fer de l'Exposition de Paris. — M. PAUL DECAUVILLE, directeur.

Chemins de fer régionaux des Bouches-du-Rhône. — M. ARNOLDI*, administrateur.

Tramways départementaux de la Côte-d'Or. — M. A. CHASSIN, ingénieur civil, directeur.

B. — COLONIES.

Chemin de fer de Bône-Guelma et prolongements (lignes d'Algérie). — MM. DEVES, président du conseil d'administration ; DESGRANGE, membre du conseil d'administration ; SCHLEMMER, membre du conseil d'administration ; A.-M. KOWALSKI, ingénieur, chef du service central de l'exploitation, à Paris.

Chemin de fer de Dakar à Saint-Louis (Sénégal). — MM. DE TRAZ, président du conseil d'administration ; GUILLET, administrateur ; POINDRON, chef du service central de la Compagnie.

Chemins de fer de l'Est algérien. — MM. HENRI DURRIEU, président du conseil d'administration ; le comte D'HAUSSONVILLE, administrateur ; LÉON BOUCHER-LÉOMENIL, ingénieur en chef attaché au conseil ; A. BRUM, directeur de l'exploitation.

Chemins de fer de l'Ouest algérien. — MM. J. PEYTEL, administrateur délégué ; L. BORDET, administrateur délégué.

XIV. — GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE (ROYAUME-UNI DE).

A. — ROYAUME-UNI.

Gouvernement britannique. — M. le général CHARLES SCROPE HUTCHINSON.

Great Eastern Railway. — LORD CLAUD JOHN HAMILTON, président ; sir HENRY W. TYLER, membre du Parlement, administrateur ; M. JOHN WILSON, ingénieur civil ; M. J.-F.-S. GOODAY, directeur du trafic continental.

Great Northern Railway. — Sir Andrew FAIRBAIRN, ancien membre du Parlement, administrateur ; M. le major F. SHUTTLEWORTH, administrateur ; FRÉDÉRIC W. FISON, administrateur ; W. GRINLING, Esquire, agent comptable de la Compagnie.

Great Western Railway. — MM. RICHARD BASSET, administrateur ; H. LAMBERT, directeur général ; A. BAUERT, chef du trafic continental.

London and North-Western Railway. — MM. J.-P. BICKERSTETH, vice-président du comité d'administration ; W. TIPPING, membre du comité d'administration ; G. FINDLAY, directeur général ; J.-W. WEBB, ingénieur en chef du matériel et de la traction ; H. FOOTNER, ingénieur principal de la voie ; E. MICHEL, directeur du trafic continental ; O.-L. STEPHEN, administrateur.

London, Brighton and South Coast and Western of France Railways. — Sir ARTHUR OTWAY, baronnet, administrateur ; MM. R. JACOMB HOOD, administrateur ; VICTOR GÉRARD, directeur du service international.

London, Chatham and Dover Railway. — MM. J.-S. FORBES, président ; WILLIAM FORBES, directeur continental ; JOHN MORGAN, secrétaire.

Manchester, Sheffield and Lincolnshire Railway. — MM. BENNETT, alderman, administrateur ; J.-W. MACLURE, membre du Parlement, administrateur ; W. POLLITT, directeur général ; ÉDOUARD ROSS, secrétaire.

Midland Railway. — MM. H. TYLSTON HODGSON*, administrateur ; CHARLES THOMAS, administrateur ; GUSTAVE BEHRENS*, administrateur ; JOHN WAKEFIELD CROPPER*, administrateur ; HENRY WIGGIN, membre du Parlement, administrateur ; LEWIS RANDLE STARKEY*, administrateur.

Midland Great Western Railway of Ireland. — Sir RALPH S. CUSACK*, président ; M. GEORGES W. GREENE*, secrétaire.

North-Eastern Railway. — The right honourable lord WENLOCK, administrateur ; the honourable CECIL DUNCOMBE, administrateur ; MM. JOHN CLEGHORN, administrateur ; HENRY TENNANT*, directeur général ; C.-N. WILKINSON, secrétaire.

South-Eastern Railway. — MM. A.-M. WATKIN*, administrateur ; le colonel SURTEES, administrateur ; sir MYLES FENTON, directeur général ; le capitaine

HERBERT F. GYE, agent de la Compagnie à Paris; ÉMILE UYTBORCK, agent de la Compagnie à Bruxelles.

B. — COLONIES.

Gouvernement des Indes (département des chemins de fer) ⁽¹⁾.

Gouvernement de la colonie du Cap (Ministère des travaux publics : chemins de fer de l'État) ⁽¹⁾.

Gouvernement de la colonie de Natal (chemins de fer de l'État) ⁽¹⁾.

Gouvernement de la Nouvelle-Zélande (chemins de fer de l'État). — M. JOHN BLACKETT, membre de l'institut des ingénieurs civils, ingénieur consultant.

Gouvernement de la colonie de Tasmanie. — M. E. BRADDON, agent général du gouvernement pour la colonie.

Gouvernement de la colonie de Victoria (chemins de fer de l'État). — M. HARRY SEWARD.

Grand Trunk Railway du Canada. — Sir H.-W. TYLER, membre du Parlement anglais, président.

XV. — GRÈCE.

Gouvernement hellénique (Ministère de l'intérieur). — MM. A. GOTTELAND, ingénieur en chef de la mission française, directeur du service des chemins de fer helléniques; JEAN-A. ISSIGONIS, ingénieur en chef départemental, attaché au service du contrôle des chemins de fer.

Chemins de fer d'Attique. — M. JEAN-A. ISSIGONIS, ingénieur.

Chemins de fer Pirée-Athènes-Péloponèse. — M. ERNEST PONTZEN, ingénieur civil, ingénieur-conseil de la Compagnie.

Chemins de fer de Thessalie ⁽¹⁾.

XVI. — GUATÉMALA (RÉPUBLIQUE DE).

Gouvernement. — M. CRISANTO MEDINA, envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la République de Guatémala à Paris.

⁽¹⁾ Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

XVII. — ITALIE.

Gouvernement italien (Ministère des travaux publics). — MM. le commandeur, professeur FRANCESCO BRIOSCHI, sénateur du royaume ; le commandeur, ingénieur PASQUALE VALSECCHI, sénateur du royaume ; le commandeur, ingénieur UBALDINO PERUZZI*, député au Parlement ; le commandeur, ingénieur LUIGI RIPA DI MEANA, inspecteur général des chemins de fer ; le commandeur, ingénieur EMANUELE ARTOM DI SANT'ACNESE*, inspecteur du génie civil ; le chevalier ADOLFÒ ROSSI, ingénieur, inspecteur en chef des chemins de fer.

Chemins de fer de l'Adriatique. — MM. LAXINO, directeur des transports ; le commandeur DOMINIQUE GATTI, ingénieur, chef du service de l'entretien ; le commandeur XAVIER AGAZZI*, ingénieur en chef du matériel roulant ; le commandeur LÉOPOLD GRAMEGNA, ingénieur, chef du service du mouvement et du trafic ; le chevalier HENRI RIVA*, ingénieur en chef au service du matériel roulant ; le chevalier LOUIS ALZONA, ingénieur en chef au service central de la traction ; le chevalier ANSANO CAJO, ingénieur chef de division ; le chevalier HECTOR BARSANTI, ingénieur chef de division ; le chevalier JACQUES BARBISIO, inspecteur central.

EUG. RANDICH, ingénieur, rapporteur ; H. CAIRO, ingénieur, chef de section, rapporteur.

Chemin de fer de l'Apennin central. — MM. MAURICE JUNG, administrateur ; LUIGI POLESE, directeur de l'exploitation ; ALBÉRIC VAN OVERBEKE, ingénieur, adjoint à la direction générale.

Chemin de fer central et tramways du Canavèse. — MM. le commandeur ADOLPHE PELLEGRINI, ingénieur, administrateur délégué ; le commandeur PHILIBERT ALLASIA*, membre du conseil d'administration.

Chemin de fer Gozzano-Alzo. — MM. E. ZANOTTI*, ingénieur, concessionnaire ; ALFONSO GOLA-VIARANA*, concessionnaire.

Chemin de fer de Mantoue-Modène. — MM. GASPARD PRAT*, avocat, administrateur délégué ; MELCHIORRE PULCIANO, ingénieur, membre du conseil d'administration.

Chemins de fer de la Méditerranée. — MM. le commandeur MATHIAS MASSA, ingénieur, directeur général ; le commandeur GAËTAN RATTI, ingénieur, vice-directeur général ; LOUIS-THÉODORE KOSSUTH, ingénieur, directeur de l'exploitation du 2^e district ; SAÛL MONTGAZZA, ingénieur, directeur de l'entretien ;

CÉSAR FRESCOT, ingénieur, directeur du service du matériel; FRAZIO CHIAZZA, ingénieur, chef adjoint du service du matériel; ALFRED BACHELET, chef du service du trafic et du mouvement; le commandeur MARCO MARONI, ingénieur, chef du service des télégraphes; le commandeur CHILDERIC FRIGO, chef de la division des tarifs; JOSEPH LAMPUGNANI, ingénieur, secrétaire en chef de la direction générale; PASCAL COLONBO, ingénieur, chef de la division technique de l'exploitation.

MM. CALLISTE CANDELLERO, ingénieur, chef de section au service de l'entretien, de la surveillance et des travaux, rapporteur; J. Rocca*, sous-inspecteur à la direction générale, rapporteur; CH. CERVINI, ingénieur, chef du bureau des études du service du matériel, rapporteur.

Chemin de fer de Modena-Vignola. — MM. le commandeur VICTOR FINZI*, président; ANGELLO GUASTALLA*, ingénieur.

Chemin de fer du Nord de Milan. — MM. le chevalier AMBROGIO CAMPIGLIO, ingénieur, directeur; ANTONIO SOMMARUGA*, chef du contrôle.

Chemin de fer de Novara-Seregno. — MM. MARCO VISCONTI, président du conseil; HENRY MANARA, conseiller d'administration.

Chemin de fer de Poggibonsi à Colle di Val d'Elsa. — MM. VALÈRE MABILLE, membre du conseil d'administration; CÉSAR FINZI*, membre du conseil d'administration.

Chemin de fer de Reggio-Emilia. — M. JOSEPH MENADA, directeur.

Chemins de fer sardes. — MM. le commandeur EPAMINONDA SEGRÉ, directeur général; le chevalier LUIGI CONTI VECCHI, ingénieur, directeur de l'exploitation; le chevalier BENIAMINO BESSO, ingénieur, inspecteur général.

Chemin de fer Sassuolo-Modena-Mirandola e Finale. — ETTORE KLEIN, ingénieur en chef de l'exploitation; LEONARDO LORIA, ingénieur, professeur à l'institut royal technique supérieur.

Chemins de fer de la Sicile. — MM. ADOLPHE BILLIA, directeur général; chevalier HENRI SCIALOJA, secrétaire général du conseil d'administration; chevalier GUIDO NUTI, ingénieur en chef de l'exploitation; chevalier LOUIS MAUCERI, secrétaire chef de la direction générale.

Chemin de fer de la Sicile occidentale. — MM. le commandeur GALLOTTI, président du conseil d'administration; le chevalier GEORGES SEEFELDER*, directeur de la Société; JOSEPH Busetto, ingénieur.

Chemin de fer Suzzara-Ferrara. — MM. ANTOINE MAZZORIN*, président du conseil d'administration; ANTOINE SPASCIANI*, ingénieur, vice-président du conseil d'administration.

Chemin de fer du Tessin. — MM. ÉDOUARD DESPRET*, président du conseil d'administration; AUGUSTE MOYAUX, directeur de la Société; CHARLES THONET, ingénieur, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer Torino-Cirié-Lanzo. — MM. ROMUALDO PALBERTI*, avocat, député au Parlement italien, président du conseil d'administration; ORLANDO REXANI, ingénieur, directeur de la Société.

Chemins de fer économiques de Bari-Barletta et extensions. — MM. C. BLANCHART, ingénieur, secrétaire du conseil d'administration; G. MARSAL, ingénieur, directeur de l'exploitation.

Chemins de fer économiques et tramways à vapeur de la province de Pise. — MM. le commandeur F.-B. ROGNETTA, ingénieur, président de la Société; F. C. JACOMI, ingénieur, directeur de la Société.

Chemins de fer économiques et tramways (Rome, Milan, Bologne, etc.). — MM. HENRI D'ANDRIMONT, président du conseil d'administration; ÉMILE STEENS, administrateur délégué.

Chemins de fer secondaires romains. — M. RAOUL PANTALEONI*, directeur de la Société; JACQUES DE BENEDETTI, syndic de la Société.

Société institution pour entreprises et constructions publiques. — MM. le commandeur V. S. BRENDA*, président de la Société; le chevalier ANTONIO CANTU*, directeur de l'exploitation; le commandeur LOUIS LUZZATTI, député au Parlement italien.

Tramways en Italie (Association de). — MM. le commandeur G. BIANCHI, président; le chevalier E. RADICE, vice-président; G. KESSELS, ingénieur, secrétaire; J. GRANDMORTIN*, secrétaire.

Tramways del Chianti e dei Colli fiorentini. — MM. le comte CHARLES MORICCI*, administrateur délégué; le chevalier JOSEPH LENCI*, ingénieur, directeur.

Tramways florentins. — MM. J. DESCAMPS, ingénieur, président du conseil d'administration; A. CHARLES, administrateur délégué.

Tramway à vapeur de Biella à Vercelli. — MM. VALÈRE MABILLE, administrateur; LÉON MOYAUX, ingénieur.

Tramways à vapeur interprovinciaux de Milan-Bergame-Crémone. — MM. GIBBS, ingénieur, chef du service des voies et travaux à la Société générale belge de chemins de fer économiques; FOWLES, ingénieur; MAES, ingénieur, directeur du chemin de fer italien de Valle-Seriane et du tramway de Bergame-Soncino.

Tramways du Monferrato. — MM. FRANCESCO RADICE*, ingénieur, administrateur; GIULIO PESARO, ingénieur.

Tramways napolitains. — MM. TREIZE-DREYS, directeur gérant; le baron A. DE FIERLANT, ingénieur, chef de service de l'exploitation à la Société générale belge de chemins de fer économiques.

Tramways provinciaux de Naples. — M. EUGÈNE BOURSON, ingénieur, administrateur délégué.

Tramways à vapeur piémontais. — MM. RODOLPHE COUMONT, président du conseil d'administration; CHARLES DUPUICH, administrateur; VICTOR LIMAUZE, administrateur du chemin de fer belge de Chimay.

Tramways de Turin. — MM. ERNEST URBAN, ingénieur, administrateur; E. VILERS, directeur de l'exploitation.

Tramways à vapeur de la province de Turin. — M. P. AMORETTI*, ingénieur, directeur.

Tramways à vapeur des provinces de Vérone et Vicence. — MM. E. WALLAERT, administrateur; GORLERO, chef de l'exploitation.

XVIII. — JAPON.

Gouvernement japonais. — M. T. OHYAMA, secrétaire de la légation de S. M. l'Empereur du Japon à Paris.

XIX. — LUXEMBOURG (GRAND-DUCHÉ DE).

Chemins de fer Guillaume-Luxembourg. — MM. VAN DE WYNCKELE, directeur général; LETELLIER*, ingénieur en chef.

Chemins de fer et minières Prince-Henri. — MM. DUPONT, directeur; GLODT, inspecteur chef de service; E. DIDERICH, inspecteur chef de service.

XX. — MEXIQUE.

Gouvernement mexicain (Ministère de l'encouragement, de la colonisation, de l'industrie et du commerce). — MM. LOUIS SALAZAR, ingénieur civil; ANTONIO ANZA, ingénieur; MANUEL RIVERA, ingénieur civil.

Chemin de fer de Hidalgo. — M. MANUEL RIVERA, ingénieur civil, inspecteur.

XXI. — PAYS-BAS.

A. — PAYS-BAS CONTINENTAUX.

Gouvernement néerlandais (Ministère du waterstaat, du commerce et de l'industrie). — M. J.-J. VAN KERKWK, membre de la seconde Chambre des États-Généraux.

Chemin de fer central néerlandais ⁽¹⁾.

Chemins de fer de l'État néerlandais (Compagnie pour l'exploitation des). — MM. W.-K.-M. VROLIK*, directeur général; J. KALFF, ingénieur en chef, chef du service des voies et travaux; J.-W. STOUTS SLOOT*, ingénieur mécanicien en chef, chef du service de la traction et du matériel; E.-J.-B -H.-M. ENGERINGH*, chef des services du mouvement et des affaires commerciales; H.-A. PERK, membre de la commission militaire permanente des chemins de fer, directeur de la Compagnie des voitures d'Amsterdam.

Chemin de fer hollandais. — MM. F.-TH. WESTERWOUDT, président du conseil d'administration; W. VAN DER VLIET, membre du conseil d'administration; R. VAN HASSELT, administrateur.

Chemin de fer Nord Brabant allemand. — MM. VOORHOEVE, président-directeur; ZELIS, directeur.

Chemin de fer rhénan-néerlandais. — MM. C.-W. VERLOOP, ingénieur de la traction et du matériel; A.-J. BUIS, ingénieur civil, ingénieur adjoint de la voie et des travaux.

(1) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Union néerlandaise des chemins de fer vicinaux et tramways. — M. S. HAME-LINK, directeur des tramways néerlandais, président de l'Union.

B. — COLONIES.

Ministère des colonies (Chemins de fer de l'État aux Indes néerlandaises) ⁽¹⁾.
Chemins de fer de l'Est de Batavia. — M. VAN DEN WALL-BAKE, directeur.

XXII. — PÉROU.

Gouvernement péruvien. — M. ÉDOUARD J. HABICH, ingénieur de l'État, directeur de l'école de constructions et des mines, à Lima.

XXIII. — PERSE.

Chemins de fer et tramways en Perse. — MM. ROBIN-GUINOTTE, ingénieur; PHILIPPE DE BURLET.

XXIV. — PORTUGAL.

Gouvernement portugais :

a) *Ministère des travaux publics, du commerce et de l'industrie; chemins de fer de l'État.* — MM. BENTO DE MOURA CONTINHO D'ALMEIDA D'EÇA, colonel du génie, conseiller, directeur général des travaux publics et des mines du royaume de Portugal; JOAO JOQUIM DE MATTOS, conseiller, inspecteur général; MANOEL ALFONSO DE ESPERGUEIRA, inspecteur général; AUGUSTO CEZAR JUSTINO TEIXEIRA, ingénieur, directeur des chemins de fer du Minho et du Douro; FRANCISCO PERFEITO DE MAGALHAES VILLAS-BOAS, ingénieur, chef du bureau technique des chemins de fer.

b) *Chemins de fer des colonies portugaises.* — MM. J. PIRÊS DE SOUZA GOMES, membre du conseil des travaux publics; J.-V. MENDES GUERREIRO, ingénieur.

Chemins de fer portugais (Compagnie nationale de). — MM. EMYGdio DA SILVA, secrétaire général; AUGUSTO PINTO DE MIRANDA MONTENEGRO, colonel du génie, député au Parlement portugais.

(1). Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemins de fer portugais (Compagnie royale des). — MM. DE FONTES GANHADO, administrateur délégué; P.-J. LOPES, directeur général de l'exploitation; FERREIRA DE MESQUITA, ingénieur adjoint au service de la voie; JOSÉ GUEDES DE QUEIROZ, ingénieur, chef du service des magasins.

Chemins de fer de la Beira-Alta. — MM. HENRY DURANGEL, administrateur délégué; LÉON DROUIN, ingénieur, inspecteur général; le comte DE GOUVEA, directeur.

Chemins de fer de l'Ouest des Indes portugaises (colonies) ⁽¹⁾.

XXV. — ROUMANIE.

Gouvernement roumain (chemins de fer de l'État). — MM. le général A. BERINDEI, membre du conseil d'administration; GR. CERKEZ, ingénieur, membre du conseil d'administration; le prince ALEXANDRE STIRBEY, membre du conseil d'administration; G. DUCA, ingénieur, directeur général; E. MICLESCU*, ingénieur, sous-directeur; TH. DRAGU, ingénieur, chef du service des ateliers; C. MANESCU, ingénieur, chef du service commercial.

XXVI. — RUSSIE.

Gouvernement russe :

a) *Ministère des voies de communication.* — MM. VLADIMIR WERCHOVSKY, conseiller d'État actuel, ingénieur, directeur du département des chemins de fer russes; ALFRED DE WENDRICH, colonel du génie, inspecteur en chef de l'inspection générale des chemins de fer russes; NICOLAS DE SYTENKO, conseiller de cour, membre de la commission internationale d'experts pour la statistique des chemins de fer, gérant et rédacteur en chef du journal du ministère des voies de communication.

b) *Ministère de la guerre : section du transport des troupes par voies ferrées (chemin de fer transcaspien)* ⁽¹⁾.

c) *Ministère de l'intérieur.* — M. NICOLAS DE ZWOLINSKI, conseiller honoraire.
Chemins de fer de l'État ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemins de fer de l'État de Finlande. — MM. C.-G. STANDERTSKJÖLD, ingénieur, directeur de l'exploitation; K.-A. NORDMAN, directeur de la traction; K.-A. GRANFELT, directeur de la voie.

Chemins de fer de la Baltique. — S. Exc. M. le baron VON DER PAHLEN, président du conseil d'administration; MM. ENAKJEFF*, ingénieur, directeur de l'administration; A. de PETSCHKE, chef du service commercial; ZEISIG, ingénieur, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer de Borgü-Kervo. — MM. C.-G. STANDERTSKJÖLD, ingénieur, président de la direction; C.-G. SANMARK, ingénieur des ponts et chaussées, membre de la direction.

Chemin de fer de Dombrowa-Ivangorod. — MM. A. GOLDSTAND*, vice-président du conseil d'administration; ALFRED MEINHARD, ingénieur, directeur de l'exploitation; ADAM DE BREZA, chef du bureau des tarifs.

Chemin de fer de Dunabourg-Vitebsk. — MM. CH. DE BUDNICKI, conseiller privé de S. M. l'Empereur, directeur de l'administration centrale et président du 1^{er} groupe des chemins de fer russes.

Chemin de fer de Fastow. — M. L. POLIAKOW, directeur; JOSEPH GOROVITZ, secrétaire général.

Chemins de fer russes (Grande Société des). — S. Exc. M. GERNGROSS, conseiller privé actuel, vice-président du conseil d'administration; MM. S. OLKHINE, conseiller privé, administrateur; L. DE PERL, conseiller d'État, directeur gérant du service international; PIERRE MIKHALTSEFF, ingénieur, directeur de la ligne Nicolas (Saint-Petersbourg-Moscou); BASILE SOUMAROKOW, ingénieur, directeur de la ligne de Saint-Petersbourg-Varsovie.

Chemin de fer de Griazi-Tzaritzine. — MM. N.-O. KOULJINSKY, président de la direction; P.-P. TSCHÉREMISSINOFF, membre de la direction.

Chemin de fer de Koslow-Woronège-Rostow. — MM. W. KISLAKOVSKY*, président de l'administration; L. POLIAKOW, directeur de l'administration.

Chemin de fer de Kursk-Kharkow-Azow ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Kursk-Kiew. — M. NICOLAS SCHAUFUSS, lieutenant-colonel du génie, directeur.

⁽¹⁾ Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemin de fer de Libau-Romny. — MM. JACQUES-J. OUTINE, conseiller privé, président de l'administration; N.-E. ADADOUROFF, ingénieur, directeur de la ligne; J.-V. DESTUDE DE BLANAY, ingénieur en chef du service de la voie; BASILE NIKIFOROFF, ingénieur en chef, chef de la section technique; chevalier NICOLAS ANTOCHINE, ingénieur en chef du service du matériel roulant et de la traction.

Chemin de fer de Lodz. — MM. le comte VICTOR SOLTAN*, ingénieur, chef du service central; EUGÈNE KUCHARSKI, chef du service du contrôle des recettes.

Chemin de fer de Lozowo-Sébastopol. — M. LOUIS DE PERL, conseiller d'État, membre de la direction.

Chemin de fer de Morschansk-Sysran ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Moscou-Brest. — MM. MARC WARCHOWSKY, membre du conseil d'administration; NICOLAS DE KRAPIWKA, membre du conseil d'administration; DAVID DE KRÜGER, ingénieur en chef du service de la traction et du matériel; ROMUALD SENDZIKOWSKI, ingénieur, chef du service technique.

Chemin de fer de Moscou-Jaroslavl-Wologda ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Moscou-Koursk. — MM. C. DE SAVITZKY, conseiller titulaire, ingénieur des ponts et chaussées, chef de section; KARTACHOFF, directeur de l'exploitation; MICHEL DE MALYSCHESKY, ingénieur des ponts et chaussées, chef de section, secrétaire du comité; KOUROFF*, chef du service commercial.

Chemin de fer de Moscou-Riazan. — M. ALEXANDRE ALEKHINE*, conseiller d'État actuel, ingénieur, directeur.

Chemin de fer de Novgorod. — MM. HENRI DE SWIENTZITZKY, ingénieur, directeur; PAUL MELNIKOFF, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur de la voie; PAUL RESCHETKINE, conseiller d'État, administrateur.

Chemin de fer de Novotorschok. — M. BOBARIKINE, administrateur.

Chemin de fer d'Orel-Griazi. — MM. W. KISLAKOVSKY*, président de l'administration; L. POLIAKOW, directeur de l'administration.

Chemin de fer d'Orel-Witebsk. — S. Exc. M. GERNGROSS, conseiller privé actuel, président du conseil d'administration; ALEXANDRE LEBEDINSKI, ingénieur en chef de la voie.

⁽¹⁾ Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemin de fer d'Orenbourg. — MM. JACQUES J. OUTINE, conseiller privé, président de la direction; MICHEL HORTVITZ, directeur; ALEXIS POWALICHINE, directeur de l'exploitation.

Chemin de fer Riajsk-Wiasma ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Riazan-Koslow. — MM. M. FEDOROFF*, directeur; M. WERHOFFSKY, directeur; R. MINTZLOFF*, secrétaire général.

Chemin de fer de Riga-Dunabourg ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Rybinsk-Bologoë. — MM. A. POURGOLD, président de la direction; N. SPIRIDONOFF, directeur; K. JASTRZEMBSKY*, directeur.

Chemin de fer du Sud-Ouest. — MM. JEAN DE BLOCH, conseiller d'État actuel, administrateur; NICOLAS DE FILIPIEFF, colonel en retraite, vice-président de la Société. — *Administration générale de Saint-Pétersbourg* : MM. B. MALESCHESKI, chef du contrôle; L. DE ROGALSKY, sous-chef de la section d'exploitation. — *Direction de l'exploitation à Kiew* : MM. A. BORODINE, directeur de l'exploitation; M. DE POGREBINSKY, ingénieur, sous-chef de la voie; ARTHUR D'ABRAMSON, ingénieur des ponts et chaussées, chef de la section technique du service de la voie; A. DE KRAUSE, sous-chef du mouvement.

Chemin de fer de Tambow-Koslow ⁽¹⁾.

Chemin de fer Transcaucasien ⁽¹⁾.

Chemin de fer de Varsovie-Bromberg. — MM. JEAN KOZNIEWSKI, ingénieur en chef; LOUIS WOJNO, ingénieur du service de la traction; GUSTAVE GUILLOT, ingénieur, membre du comité d'administration; CHARLES SULIKOWSKI*, directeur technique.

Chemin de fer de Varsovie-Térespol. — MM. LÉON DE GNOINSKI, ingénieur, directeur; LADISLAS DE KISLANSKI, ingénieur, membre du conseil d'administration; ÉTIENNE DE ZIELINSKI, membre du conseil d'administration.

Chemin de fer de Varsovie-Vienne. — MM. JEAN KOZNIEWSKI, ingénieur en chef; LOUIS WOJNO, ingénieur du service de la traction; GUSTAVE GUILLOT, ingénieur, membre du conseil d'administration; CHARLES SULIKOWSKI*, directeur technique.

⁽¹⁾ Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemin de fer de la Vistule. — MM. LÉON DE GNOINSKI, directeur; MATHIAS DE PASZKOWSKI*, ingénieur en chef de la traction et du matériel roulant; MAXIMILIEN MALACHOWSKI, ingénieur.

Chemin de fer Vladicaucase. — MM. STANISLAS KERBEDZ, vice-président de la Société; MICHEL KERBEDZ, ingénieur; JEAN INOZENTZEFF, ingénieur, directeur; M. NAGRODSKI, chef de division.

Tramways de Moscou et de Russie. — MM. HYACINTHE GRODENT, administrateur; PAUL HANMELRATH, secrétaire du conseil d'administration.

Tramways d'Odessa. — M. CHARLES PÉCHER*, administrateur; JULES DE LA FONTAINE*, ingénieur.

XXVII. — SERBIE.

Gouvernement serbe (Ministère des travaux publics : section des chemins de fer) ⁽¹⁾.

Chemins de fer de l'État serbe (Compagnie de construction et d'exploitation des). — MM. ARMAND FERRÉ, ingénieur, administrateur délégué, à Paris; ÉMILE LAVEISSIÈRE, administrateur, à Paris; GUSTAVE FINET*, représentant général de la régie d'exploitation, à Belgrade.

XXVIII. — SUÈDE ET NORVÈGE.

A. — SUÈDE.

Gouvernement suédois (chemins de fer de l'État). — MM. F. ALMGREN, administrateur; le baron K.-U. SPARRE*, administrateur, chef de la voie; F.-W.-H. PEYELow, ingénieur du matériel roulant; CH.-P. SANDBERG, ingénieur civil, inspecteur des rails.

Chemins de fer de Frövi-Ludvika et Bänghammar-Kloten. — M. JOHN JOHNSON, ingénieur, directeur général.

Chemin de fer Nassjö-Oskarhamn. — M. G. GOSLETT, directeur gérant.

Chemin de fer de Nora-Karlskoga. — M. C. COLLETT, ingénieur en chef.

(1) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

Chemins de fer de Palsboda-Finspong et Finspong-Norsholm. — M. OSCAR KAMPH, ingénieur, administrateur.

B. — NORVÈGE.

Gouvernement norvégien (chemins de fer de l'État). — MM. A.-D. S. HJORTH, ancien lieutenant-colonel, membre de la direction générale; C. PIHL, ingénieur civil, directeur de la section des voies; G. OXAAL, directeur de la section des machines.

Chemin de fer de Christiania à Eidsvold (Hoved) (¹).

XXIX. — SUISSE.

Gouvernement fédéral (Département des chemins de fer). — MM. FARNER, inspecteur administratif au département des chemins de fer; E. DAPPLES, inspecteur technique au département des chemins de fer.

Chemin de fer du Gothard. — M. H. DIETLER, ingénieur, membre de la direction.

Chemins de fer de Jura-Berne-Lucerne. — MM. ÉDOUARD MARTI, président de la direction; PIERRE JOLISSAINT, membre de la direction; JULES DUMUR, directeur.

Chemin de fer de la Seethal (Lucerne à Aarau). — MM. CHARLES RIGBY, administrateur; H. SCHMIDLIN, directeur de l'exploitation.

Chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon. — MM. COLOMB*, directeur; MANUEL*, ingénieur attaché au bureau de la direction; MEYER, ingénieur en chef de la voie; RODIEUX, ingénieur en chef de la traction.

Chemin de fer de Territet à Glion. — MM. LOMMEL, ingénieur; ALPHONSE VALLOTTON, vice-président du conseil d'administration.

Chemin de fer régional de Tramelan-Tavannes. — MM. H.-H. HOURIET*, député, vice-président du conseil d'administration.

(¹) Cet adhérent ne s'est pas fait représenter au Congrès.

M. Fassiaux, président de la Commission internationale, déclare la séance ouverte.

M. Yves Guyot, ministre des travaux publics, se lève et prononce le discours suivant :

« MESSIEURS,

« C'est pour moi un grand honneur de souhaiter la bienvenue aux membres du Congrès international des chemins de fer, qui ont bien voulu choisir Paris pour siège de leur troisième session.

« Le caractère des questions qu'il soulève, les résultats déjà acquis par ses travaux précédents, la situation considérable et l'autorité spéciale des hommes qui le composent, lui donnent une importance exceptionnelle.

« Vous avez pour but, en étudiant tous les problèmes que soulèvent la construction et l'exploitation des chemins de fer, d'annoncer et de préparer les découvertes de demain.

« Vous êtes insatiables. Ce Congrès international est né de la célébration sur le continent du cinquantenaire des chemins de fer. En ce laps de temps, ils ont accompli des progrès que bien d'autres institutions n'ont pas réalisés, hélas ! en un siècle.

« Si pleins de foi qu'ils fussent dans l'avenir de la locomotive, Stephenson et Seguin seraient stupéfaits devant les résultats acquis. On voit bien que les chemins de fer marchent à la vapeur !

« Cependant, les problèmes résolus suscitent de nouveaux problèmes ; les avantages obtenus provoquent des besoins nouveaux. Cette aspiration incessante de l'humanité vers le mieux, cette aptitude à la perfectibilité, font sa grandeur, et ce n'est certes pas vous qui vous plaindrez des nouveaux efforts qu'elles vous imposent.

« Les idées même des hommes spéciaux se transforment sur le rôle et le caractère des chemins de fer. On a longtemps pensé que la voie ferrée était un instrument uniforme, qu'il n'y avait place que pour un type de chemins de fer. Aujourd'hui, on croit qu'ils doivent s'assouplir et se modifier selon les besoins auxquels ils correspondent.

« On a été conduit, sur les grandes lignes, à organiser des trains légers ; je m'honore d'avoir proposé, au mois de mars dernier, à la signature de M. le président de la République, un décret qui permet cette amélioration. On a construit enfin, pour les régions en dehors des grands parcours et qui ne pouvaient fournir

un grand trafic, des lignes secondaires différant des anciennes par la largeur de la voie et par la courbure du tracé. Si vos quatre premières sections sont consacrées à l'étude des grandes lignes, la cinquième est destinée spécialement à l'étude de ces chemins de fer.

« J'ai lu avec le plus vif intérêt les rapports publiés dans votre *Bulletin*, et je me permets de résumer les principales idées que j'y ai trouvées, parce qu'elles sont de nature à montrer au public combien vous vous préoccupez de ses besoins et de ses désirs.

« Sur les voies à grand trafic, le public demande trois choses : vitesse, sécurité et confort. Vous avez à concilier ces desiderata avec l'économie des frais d'exploitation.

« Vous avez reconnu que, pour augmenter la vitesse, il ne suffit pas de construire des machines plus puissantes; il faut encore consolider la voie; on est arrivé ainsi à poser des rails de 12 mètres de longueur pesant jusqu'à 52 kilogrammes par mètre courant et supportés par des traverses aussi rapprochées que le permet le travail d'entretien; on ne s'étonne plus de voir des machines développer une vitesse moyenne de marche atteignant 90 kilomètres à l'heure et transmettre aux rails une pression de 17 tonnes par essieu.

« Pour atténuer l'action de ces projectiles colossaux, pour les empêcher de détériorer les voies qui doivent guider leur course, je constate la préoccupation de donner plus de souplesse à la locomotive, de la munir de bogie à l'avant, afin qu'elle puisse épouser sans choc les tracés sinueux. C'est ainsi que vous arrivez à concilier la vitesse et la sécurité.

« Cette sécurité, du reste, est à peu près absolue sur les chemins de fer français; car, pour les cinq années de 1882 à 1887, nous constatons un voyageur blessé par 90 millions de kilomètres parcourus et un voyageur tué par 3 milliards de kilomètres parcourus.

« Vous vous préoccupez aussi d'accroître le confort des voyageurs. Ils trouvent maintenant des salles à manger, des lits. A l'Exposition, nous pouvons voir des types variés de voitures, s'appliquant à toutes les classes et prouvant, en même temps que le désir de répondre aux vœux du public, l'ingéniosité des recherches auxquelles se sont livrés les constructeurs.

« Pour économiser les frais d'exploitation, vous cherchez à diminuer le poids mort; vous classez les wagons par des procédés méthodiques dans les gares de triage; vous utilisez de mieux en mieux la surface des gares.

« J'ai été vivement frappé de la sûreté de la méthode que vous appliquez à

toutes les questions. J'ai salué, en vieilles et chères connaissances, les cases de statistique que vous avez dans chacune de vos quatre premières sections. Vous croyez, avec tous ceux qui veulent appliquer les procédés de la méthode inductive aux questions économiques et sociales, que nous devons nous adresser à elle pour obtenir les données indispensables et les plus indiscutables, en dépit de ses lacunes et de ses erreurs.

« Permettez-moi donc de citer quelques chiffres relatifs à la France, sur la situation des chemins de fer.

« Dans notre pays, nous sommes arrivés à un développement de 35,000 kilomètres de chemins de fer, alors qu'il y a vingt ans il n'était que de 15,600 kilomètres, et en 1877 que de 21,000 kilomètres. Le nombre des voyageurs kilométriques a passé de 4 milliards 300 millions à 7 milliards 800 millions, soit une augmentation de 68 p. c., et le nombre de tonnes kilométriques, de 5 milliards 845 millions à 9 milliards 900 millions, soit une augmentation de plus de 72 p. c. Il y a dix ans, le rapport de la longueur des chemins de fer à la superficie était de 4 kilomètres par myriamètre carré; il est maintenant de plus de 6 kilomètres. Le rapport à la population par 10,000 habitants était de 4 kilomètres, il est maintenant de 8 kilomètres et demi.

« La statistique donne des indications sur une question plus complexe : les goûts et les besoins des voyageurs. L'un de vos rapporteurs a été conduit à constater la tendance du public à utiliser de plus en plus les voitures de troisième classe. Il veut, en même temps, qu'elles soient de plus en plus commodées. Vous en arrivez ainsi à transporter des voyageurs dans des wagons aussi confortables que ceux de seconde classe en n'exigeant d'eux que le prix de la troisième. Cet abaissement de tarif est encore plus apprécié quand la dernière classe participe à tous les avantages de la vitesse.

« Vous avez non seulement affaire au public, messieurs, mais encore à un personnel nombreux et divers ; vous étudiez les moyens de l'intéresser aux économies faites dans les dépenses d'exploitation et à l'augmentation des recettes. Vous recherchez les meilleures institutions de prévoyance en faveur des employés et des ouvriers de chemins de fer. Vous examinez ces questions, je le sais, avec l'attention que vous donne le sentiment de la responsabilité et du devoir social qui s'imposent à vous en raison de la grandeur des intérêts qui vous sont confiés. L'important est qu'il n'y ait pas de malentendu et qu'il s'établisse entre tous la conviction d'une bonne volonté et d'une bienveillance réciproques. Les institutions sont beaucoup ; les mœurs sont encore plus.

« Dans la cinquième section, où vous étudiez les chemins de fer secondaires, vous vous trouvez en présence de questions de deux ordres différents.

« Vous avez à en examiner les conditions d'établissement et d'exploitation. La législation est loin d'avoir dit son dernier mot à leur égard, au moins en France. J'ai chargé deux ingénieurs d'une mission pour l'étudier en Belgique et, après un premier rapport, je l'ai étendue à d'autres pays.

« Parmi les objections qui se dressaient autrefois contre les chemins de fer secondaires, se trouvait le transbordement. Plusieurs d'entre vous, messieurs, l'ont résolue fort heureusement et j'espère que vous trouverez que votre rapporteur dissipe les dernières appréhensions.

« Votre tâche est grande et complexe, mais ce n'est pas le labeur qui vous effraye. Vous donnez le bel exemple d'hommes qui, loin d'essayer de garder pour eux-mêmes les secrets du métier, se communiquent généreusement les uns aux autres le résultat de leurs expériences respectives. L'industrie des transports est la clé de toutes les autres. Le monde civilisé sans chemins de fer ne se conçoit plus maintenant. Il profitera de vos travaux, et la France conservera le souvenir reconnaissant du séjour que vous avez fait au milieu de nous. Elle n'oubliera pas que vous avez bien voulu venir contribuer à l'éclat de notre grande solennité pacifique et préparer les éléments d'expositions futures.

« Je vous en remercie, messieurs, au nom de la République française. » (*Applaudissements.*)

M. Fassiaux répond en ces termes :

« MONSIEUR LE MINISTRE, MESSIEURS,

« Ma première pensée en prenant la parole est d'exprimer toute la reconnaissance de l'assemblée pour le splendide accueil qui nous est fait en cette belle France, où, comme le prouve encore le remarquable discours que nous venons d'entendre, se révèle partout l'ardent désir de favoriser tous les progrès, d'où qu'ils viennent.

« Je suis bien certain d'être l'interprète fidèle de tous les membres de l'assemblée en m'exprimant ainsi, et je prie, en leur nom, Votre Excellence d'agréer l'hommage de leur gratitude.

« De même que vos éminents collègues de Belgique et d'Italie (MM. Jules Vandenpeereboom et Saracco), vous avez, monsieur le Ministre, fait ressortir tous les bienfaits que les chemins de fer sont appelés à répandre sur le monde entier.

« Le temps n'est plus, en effet, où les meilleurs esprits considéraient cette admirable invention comme devant produire des résultats nuisibles plutôt qu'utiles. L'heure est venue, au contraire, où l'on est unanime à reconnaître qu'elle est appelée à transformer le monde par le rapprochement des peuples.

« Grande et sainte est donc la mission à laquelle nous nous sommes voués. Cette mission nous commande d'aider au perfectionnement de toutes les branches de ce grand service public en cherchant à les unifier, à rendre les relations plus simples et par conséquent d'un usage plus facile.

« C'est pourquoi nous sommes venus si nombreux aux assises de Paris, avec la conviction que, dans ce milieu où tout respire le progrès, nous ne saurions manquer d'ajouter de nouveaux succès à ceux que nous avons obtenus dans nos deux premières sessions.

« Sans doute, monsieur le Ministre, le dernier mot ne sera pas encore dit à la clôture de la session actuelle; plus d'un problème restera encore à résoudre. Mais j'ose prédire que ce qui sortira de nos délibérations marquera un progrès d'autant plus glorieux, d'autant plus digne de la France, qu'il aura été sanctionné par une assemblée qui contient presque toutes les sommités du monde des chemins de fer.

« Nous irons le proclamer partout, de session en session, jusqu'à ce qu'un résultat final vienne couronner une œuvre que l'humanité classera bien certainement parmi les bienfaits dus à la science, au courage et à la persévérance des pionniers de la civilisation.

« Aussi est-ce avec une foi profonde que nous allons nous mettre au travail; mais nous ne le ferons pas sans reporter notre reconnaissance jusqu'à l'homme d'État qui préside aux destinées de la France et qui a bien voulu nous permettre de joindre son patronage à celui de la Belgique et de l'Italie.

« Ce patronage nous est précieux et nous en sommes d'autant plus fiers que, par une coïncidence du meilleur augure, M. Carnot appartient au corps des ingénieurs qui, avec les administrateurs d'élite que nous comptons parmi nous, sont devenus les principaux artisans de la paix et de la fraternité qu'il préconisait dans un discours prononcé le 11 mai dernier à l'hôtel de ville de Paris, où il a résumé toutes ses pensées en disant : « Nous travaillons pour la paix du monde et pour la fraternité des peuples. »

« Nous aussi, nous travaillons dans le même but et certes nous ne saurions rendre un plus grand hommage à M. Carnot qu'en lui donnant l'assurance que nous sommes en parfaite communauté d'idées avec lui. » (*Applaudissements.*)

M. Yves Guyot, ministre des travaux publics. Soyez bien persuadé, monsieur le Président, que je transmettrai vos excellentes paroles à M. le Président de la République.

M. Fassiaux. Nous en serons fort honorés, monsieur le Ministre.

— M. le ministre Yves Guyot se retire au milieu des acclamations de l'assemblée.

M. Fassiaux prend place au fauteuil de la présidence, accompagné au bureau par MM. les membres du Comité de direction de la Commission internationale.

M. le Président. Messieurs, en vertu de l'article 12 de notre règlement, nous avons quelques dispositions à prendre pour que nous puissions fonctionner régulièrement.

Nous avons avant tout à pourvoir à la présidence d'honneur; mais nous n'avons qu'à sanctionner un fait accompli, puisque c'est en qualité de président d'honneur que M. le Ministre des travaux publics vient d'ouvrir la troisième session du Congrès. Je me borne donc à vous proposer, Messieurs, de le confirmer dans cette qualité. (*Applaudissements.*)

En second lieu, il y a une autre présidence qui s'impose par la déférence que nous devons aux grandes Administrations de chemins de fer, dont le concours nous est si utile, si précieux pour les travaux que nous allons entreprendre. C'est pourquoi la Commission a pensé que nous ne pourrions mieux affirmer ce sentiment qu'en vous proposant de conférer la seconde présidence d'honneur à M. le baron Alphonse de Rothschild, président du conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer du Nord. (*Applaudissements.*)

Enfin, fidèles à nos habitudes de courtoisie et convaincus qu'en ce point encore vos sentiments sont en harmonie avec les nôtres, nous pensons qu'il convient de conférer à une haute personnalité française la présidence effective de notre présente session. En conséquence, nous avons l'honneur de vous proposer d'appeler à cette présidence M. Alfred Picard, président de la section de l'industrie, du commerce, de l'agriculture et des travaux publics au conseil d'État. (*Longs applaudissements.*)

Je prie M. Picard de venir prendre place au bureau en qualité de président du Congrès.

M. Picard se rend à cette invitation et s'exprime en ces termes :

“ MESSIEURS,

“ J'éprouve quelque scrupule à prendre la parole après M. le Ministre des travaux publics et M. le Président de la Commission internationale : je voudrais pouvoir vous laisser sous l'impression et le charme des deux discours si éloquents que vous venez d'entendre.

“ Cependant, en prenant possession de ce fauteuil, je dois vous dire toute ma reconnaissance pour le très grand honneur que vous avez bien voulu me faire en m'appelant à présider vos délibérations. J'en suis absolument confus, quand je vois réunis dans cette enceinte tant d'administrateurs consommés et d'ingénieurs éminents qui, par leur talent, leur science, l'éclat de leur passé, eussent été plus qualifiés que moi pour recueillir vos suffrages.

“ Mon embarras est grand surtout lorsque, me reportant aux sessions précédentes, je me rappelle les noms et les mérites exceptionnels de mes deux prédécesseurs : M. Fassiaux, secrétaire général du ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique, qui est le véritable initiateur, je dirais volontiers l'apôtre du Congrès des chemins de fer, et qui, à des titres divers, a rendu tant de services à la cause du progrès et de la civilisation; M. le commandeur Brioschi, sénateur du royaume d'Italie, dont vous connaissez tous les profondes études sur le régime général des voies ferrées et les remarquables travaux scientifiques, et dont la présence au milieu de nous jette tant de lustre sur notre compagnie. (*Applaudissements.*)

“ En me désignant, vous avez voulu, conformément à vos traditions de courtoisie, rendre hommage au pays qui vous offre aujourd'hui l'hospitalité, et au gouvernement dont je ne suis ici que le modeste représentant. Permettez-moi donc de vous remercier de tout cœur, non seulement en mon nom personnel, mais encore et surtout au nom de la France, au nom du gouvernement de la République française.

“ Je m'efforcerai de justifier votre bienveillance par un dévouement absolu à notre œuvre commune et par une complète impartialité dans la direction de vos débats. (*Vive approbation.*)

“ Messieurs, lorsque, au début de cette séance solennelle d'ouverture, l'honorable M. Yves Guyot, ministre des travaux publics, vous a adressé ses souhaits de cordiale bienvenue, tous mes collègues français ont accueilli ses paroles par

des applaudissements unanimes, témoignant ainsi des sentiments de joie et d'orgueil patriotique que leur inspire le choix de la ville de Paris pour siège de la troisième session du Congrès des chemins de fer.

« Je serai certainement leur interprète fidèle en disant à MM. les membres étrangers de cette assemblée d'élite combien nous nous félicitons de l'empressement avec lequel ils ont répondu à l'appel concerté entre la Belgique et la France, combien nous sommes reconnaissants aux gouvernements, aux Administrations et aux Compagnies qui les ont délégués. (*Bravos.*)

« Nous avons, messieurs, le ferme espoir que vous ne regretterez point votre séjour parmi nous. Vous y trouverez l'accueil le plus sympathique; rien ne sera négligé pour que vous soyez reçus avec tous les égards dus à votre haute situation et à l'importance de votre rôle dans la vie matérielle et morale des peuples.

« Une circonstance heureuse nous facilitera, d'ailleurs, notre tâche : je veux parler de la coïncidence entre le Congrès des chemins de fer et l'Exposition universelle, cette grande manifestation pacifique dont le succès, sans cesse grandissant, a dépassé les prévisions les plus optimistes.

« Messieurs, l'Exposition vous offrira un spectacle merveilleux, en même temps qu'un sujet d'études digne de vous. Nous vous la montrerons avec une légitime fierté, convaincus que votre admiration hésitera entre le palais et les richesses artistiques ou industrielles qui y sont accumulées.

« Vous pourrez y voir une architecture nouvelle, des types de constructions métalliques d'une hardiesse jusqu'alors inconnue, un outillage de travail profondément modifié et transformé, des œuvres d'art magnifiques, des produits d'une perfection véritablement surprenante, d'innombrables chefs-d'œuvre dans toutes les branches de l'activité humaine, des spécimens caractéristiques de toutes les civilisations, depuis l'Amérique du Sud jusqu'à l'extrême Orient.

« Nous vous demanderons la faveur d'un examen spécial pour deux sections qui se rattachent aux travaux du Congrès, et qui, par leur nature, vous intéresseront plus particulièrement : la section du matériel des chemins de fer et la section de l'histoire rétrospective des moyens de transport.

« L'exposition du matériel des chemins de fer est, sans contredit, la plus belle qui ait encore été organisée. Plusieurs pays amis, tels que la Belgique, l'Angleterre, l'Italie, la Suisse, les États-Unis d'Amérique, y occupent une large place. Elle met en relief les efforts considérables faits depuis quelques années pour accroître la puissance des machines, la vitesse, le transport des voyageurs, le confort des voitures et la sécurité de la circulation. Elle comprend d'ailleurs deux

éléments nouveaux, qui n'avaient pour ainsi dire pas figuré aux expositions antérieures : les chemins de fer secondaires et les tramways.

« Quant à l'exposition rétrospective des moyens de transport, elle permet de suivre pas à pas, depuis les temps les plus reculés, la filiation et les transformations successives des procédés en usage pour le déplacement des hommes et des choses. Une part importante y est réservée aux transports par voie ferrée : grâce à l'obligeance de l'Angleterre, nous avons pu placer sous les yeux du public les premières locomotives de l'illustre Stephenson, dont je ne saurais évoquer la mémoire devant des ingénieurs de chemins de fer sans la saluer d'un témoignage de respect et de vénération. (*Vive approbation.*) Cette exposition historique n'est pas seulement instructive, elle a une haute portée morale et philosophique, que vous saurez en dégager : elle montre l'homme soumis à la loi inexorable qui lui interdit de jamais s'arrêter dans la voie du travail et du progrès, qui l'oblige, sous peine de déchéance, à aller toujours de l'avant, à perfectionner sans cesse son œuvre de la veille.

« Messieurs, les visites auxquelles nous vous convions ainsi, loin d'entraver vos travaux, ne pourront que les éclairer et les rendre plus fructueux. Des dispositions seront prises d'ailleurs pour qu'elles ne se prolongent pas outre mesure et n'apportent aucun obstacle aux réunions du Congrès.

« Vous avez, en effet, messieurs, un ordre du jour qui ne vous laissera que peu de loisirs.

« Les questions qu'il embrasse sont fort nombreuses; quelques-unes présentent un intérêt capital. Malgré le peu de temps qu'il vous sera possible de consacrer à leur examen, vous les traiterez, je m'en porte garant, avec toute l'ampleur nécessaire; vous les discuterez sans aucun doute avec le grand savoir, la rare compétence et la hauteur de vues dont vous avez donné tant de preuves à Bruxelles et à Milan. La session de 1889 continuera dignement celles de 1885 et de 1887.

« Messieurs, le gouvernement belge peut, dès aujourd'hui, se féliciter de l'heureuse initiative qu'il a prise, en instituant ces grandes assises du travail, en provoquant ces échanges périodiques d'idées et de données expérimentales, en groupant tant de talents et de bonnes volontés pour les faire concourir au bien de l'humanité.

« Dès maintenant, il a le droit d'être fier des résultats obtenus.

« Sans doute, le but final qu'indiquait M. le Ministre des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique n'est pas encore atteint; sans doute, l'union générale des chemins de fer, qu'il entrevoyait dans un rêve généreux, n'est point

encore susceptible de réalisation : sans doute, cette vaste fédération qu'il désirait, à l'instar de l'Union postale, se heurte encore contre des obstacles qu'il ne dépend pas de vous d'aplanir.

« Mais votre Congrès n'en a pas moins rendu à la chose publique des services que les esprits les plus sceptiques ne sauraient méconnaître, s'ils ne ferment les yeux à la lumière. Pour s'en rendre compte, il suffit de parcourir les procès-verbaux des séances tenues à Bruxelles et à Milan, ainsi que le bulletin mensuel publié par les soins de notre comité de direction.

« Vous avez abordé les problèmes les plus complexes et les plus délicats; vous les avez débattus sans autre passion qu'un profond amour de la vérité, qu'un ardent désir de contribuer au développement de la prospérité générale. Chacun de vous y a apporté le tribut de ses méditations et de son expérience. Vos débats ont toujours été empreints de ce caractère pratique qui leur donne tant de portée et de valeur.

« Je me reprocherais de faire un choix parmi des discussions toutes également brillantes. Vous m'excuserez toutefois de mentionner spécialement celles que vous avez engagées sur la construction et l'exploitation économique des lignes secondaires, sur les moyens d'intéresser le personnel à l'accroissement du trafic et à la réduction des dépenses, enfin sur les mesures à prendre pour améliorer la condition des soldats de la puissante armée dont vous êtes les chefs.

« Il est un ordre de questions que vous vous êtes jusqu'ici bornés à effleurer : ce sont celles que soulève la tarification des voyageurs et surtout des marchandises. Votre réserve s'explique et se justifie par la difficulté de dégager et de poser des règles générales dans une matière où les solutions doivent être appropriées au génie des peuples, à leurs traditions, à leurs habitudes, à leurs besoins, à la nature de leur production industrielle ou agricole, à leur état financier, aux principes admis pour le régime des chemins de fer, à mille autres circonstances encore, qu'il serait trop long d'énumérer ici. Je crois pouvoir dire, néanmoins, que, malgré cette difficulté incontestable, vous n'avez nullement l'intention de mettre les taxes de transport en interdit : elles vous offriront un vaste champ d'études et d'explications réciproques, sur lequel vous pourrez un jour vous aventurer sans danger, sauf à vous maintenir dans des limites que vous vous assignerez d'avance et que votre sagesse vous indiquera. Vous remplirez ainsi le vœu le plus cher de M. le Président de la Commission internationale.

« Messieurs, j'ai vanté tout à l'heure l'utilité professionnelle du Congrès des chemins de fer. Mon éloge serait incomplet, si je ne disais un mot des bienfaits de

cette œuvre de paix et de concorde, au point de vue du rapprochement entre les nations qui y participent.

« Ce contact, quelque court qu'il soit, des administrateurs et des ingénieurs appartenant aux pays les plus divers, leur permet de se connaître, de s'apprécier, de s'estimer, de s'aimer les uns les autres. La glace se rompt; les préventions s'effacent; les distinctions de race, de drapeau, de nationalité, s'atténuent, pour faire place au sentiment si noble et si élevé d'une grande patrie qui ne connaît pas de frontières, celle de la science et du travail. (*Applaudissements.*)

« Mes chers collègues étrangers, nous comptons beaucoup sur cet effet salulaire de notre réunion.

« Vous allez vivre au milieu de nous et pouvoir nous juger de près. Nous avons confiance dans votre jugement.

« La France a traversé de terribles épreuves; mais elle a fait visiblement face à la bourrasque. Dix-huit années d'ordre et de travail incessant nous ont permis de reconstituer nos forces. Nous n'avons d'autre désir que de vivre librement et de jouir d'une paix honorable, d'autre ambition que de tenir notre rang dans la vie intellectuelle des peuples, et de conserver intact le patrimoine d'honneur que nous ont légué nos pères. (*Bravos.*) Nous tenons à entretenir les meilleures relations avec toutes les nations et à leur rendre avec usure l'affection qu'elles voudront bien nous accorder. Nous serons toujours prêts à reconnaître leurs mérites et à saluer la lumière, de quelque point de l'horizon qu'elle nous vienne.

« Si, après avoir observé le peuple français, vous le réputez, comme nous l'espérons, sage, laborieux, loyal et généreux, si, pendant votre trop court séjour, vous concevez pour lui quelque estime et quelque amitié, vous ferez germer ces sentiments autour de vous, lorsque vous rentrerez dans votre pays.

« La France vous en sera profondément reconnaissante. (*Applaudissements.*)

« Messieurs, je tromperais certainement votre attente et je serais impardonnable si, avant de terminer, je ne remerciais en votre nom les membres de la Commission internationale, et surtout les membres du Comité de direction, des soins qu'ils ont pris pour préparer la session de 1889 et en assurer le succès, si je ne disais spécialement à l'honorable M. Fassiaux tout le gré que nous lui savons de son zèle et de son dévouement infatigables : témoin de ses efforts incessants, je suis heureux de pouvoir attester ici qu'il a bien mérité de nous tous. (*Marques d'assentiment.*)

« J'ai l'honneur, messieurs, de vous proposer un vote de félicitation pour le Comité de direction, pour la Commission internationale et en particulier pour leur Président. - (*Applaudissements prolongés.*)

Messieurs, vous avez à compléter votre bureau, conformément à l'article 12 de nos statuts, lequel est ainsi conçu :

« A l'ouverture de chaque session, le bureau de la Commission internationale remplit les fonctions de bureau provisoire, et le Congrès procède immédiatement à l'élection de son bureau, composé :

- « 1° D'un ou de plusieurs présidents d'honneur;
- « 2° D'un président;
- « 3° De vice-présidents;
- « 4° Des présidents de section, en conformité de l'article 14;
- « 5° D'un secrétaire général;
- « 6° De secrétaires.

« Le premier délégué de chaque gouvernement est de droit vice-président.

« Tous les membres du bureau sont nommés pour une session.

« L'élection a lieu dans les conditions indiquées à l'article 16, alinéa 6.

« Les fonctions du bureau sont celles déterminées par les règles en usage dans les assemblées délibérantes pour la direction des débats. »

Il a été pourvu à la nomination des présidents d'honneur, ainsi que du président. J'ai l'honneur de vous proposer, messieurs, de proclamer, comme vice-présidents, les délégués des gouvernements dont les noms suivent :

M. N. ORTIZ VIOLA, premier secrétaire de la légation de la République Argentine à Paris (délégué du gouvernement argentin);

M. MAX EDLER VON LEBER, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer au ministère du commerce de l'Autriche (délégué du gouvernement autrichien);

M. JULES DE LUDWIGH, conseiller ministériel et président de la direction des chemins de fer de l'État hongrois (délégué du gouvernement hongrois);

M. A. FASSIAUX, secrétaire général du ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique (délégué du gouvernement belge);

M. YORGE RADEMAKER-GRUNDWALD, ingénieur civil (délégué du gouvernement brésilien : ministère des travaux publics, du commerce et de l'agriculture);

M. P. NICOLOFF, ingénieur, directeur des chemins de fer de l'État bulgare (délégué du gouvernement bulgare);

M. le capitaine A. THYS, officier d'ordonnance de S. M. le roi des Belges, direc-

teur général de la Compagnie des chemins de fer du Congo (délégué du gouvernement de l'État indépendant du Congo);

M. SCANDER BEY FAHMY, chef du mouvement des chemins de fer de l'État égyptien (délégué du gouvernement égyptien);

M. AMADO DE LAZARO Y FIGUERAS, inspecteur général des ponts et chaussées d'Espagne (délégué du gouvernement espagnol);

M. GAY, conseiller d'État, directeur des chemins de fer au ministère des travaux publics de France (délégué du gouvernement français);

M. le général CHARLES SCROPE HUTCHINSON (délégué du gouvernement britannique);

M. JOHN BLACKETT, membre de l'Institut des ingénieurs civils, ingénieur consultant (délégué du gouvernement de la colonie de la Nouvelle-Zélande);

M. E. BRADDON, agent général du gouvernement pour la colonie (délégué du gouvernement de la colonie de Tasmanie);

M. HARRY SEWARD (délégué du gouvernement de la colonie de Victoria);

M. A. GOTTELAND, ingénieur en chef, directeur du service des chemins de fer helléniques (délégué du gouvernement hellénique);

M. CRISANTO MEDINA, envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la république de Guatemala à Paris (délégué du gouvernement de la république de Guatemala);

M. le commandeur professeur FRANCESCO BRIOSCHI, sénateur du royaume d'Italie (délégué du gouvernement italien);

M. T. OHYAMA, secrétaire de la légation du Japon à Paris (délégué du gouvernement japonais);

M. LOUIS SALAZAR, ingénieur civil (délégué du gouvernement mexicain : ministère de l'encouragement, de la colonisation, de l'industrie et du commerce);

M. J.-J. VAN KERKWYK, membre de la seconde chambre des États généraux des Pays-Bas (délégué du gouvernement néerlandais);

M. ÉDOUARD J. HABICH, ingénieur de l'État et directeur de l'École de constructions et des mines à Lima (délégué du gouvernement péruvien);

M. BENTO FORTUNATO DE MOURA CONTINHO DE ALMEIDA D'ÊÇA, conseiller, directeur général des travaux publics et des mines du royaume de Portugal (délégué du gouvernement portugais);

M. le général A. BERINDEI, membre du conseil d'administration des chemins de fer de l'État roumain (délégué du gouvernement roumain);

M. VLADIMIR WERCHOVSKY, conseiller d'État actuel, ingénieur, directeur du département des chemins de fer russes (délégué du gouvernement russe);

M. FREDRIK ALMGREN, administrateur des chemins de fer de l'État suédois (délégué du gouvernement suédois);

M. A. D. S. HJORTH, ancien lieutenant-colonel, membre de la direction générale des chemins de fer de l'État norvégien (délégué du gouvernement norvégien);

M. FARNER, inspecteur administratif au département des chemins de fer suisses (délégué du gouvernement fédéral).

— Ces choix sont ratifiés par l'assemblée.

M. le Président. J'ai également l'honneur, messieurs, de vous proposer de confirmer dans leurs fonctions respectives, qu'ils ont remplies avec zèle et talent, près la Commission internationale :

M. AUGUSTE DE LAVELEYE, ingénieur, secrétaire général;

M. EUGÈNE KESTELOOT, chef de division au ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique, secrétaire;

M. ÉDOUARD HOLEMANS, chef de division au même ministère, secrétaire adjoint;

M. LOUIS WEISSENBRUCH, ingénieur au même ministère, secrétaire adjoint.

— Cette proposition est adoptée.

M. le Président. M. Paul Brame, dont le nom nous est si cher à tous, dont le comité a souvent réclamé le concours, serait adjoint au secrétariat général, à titre de correspondant du comité de direction. (*Assentiment.*)

Messieurs, aux termes de l'article 14 de nos statuts, chaque section nomme son président, son secrétaire principal et ses secrétaires. — Suivant l'usage consacré, la Commission internationale a désigné, pour présider provisoirement les sections, ceux de ses membres dont voici les noms :

1^{re} section : M. MAX VON LEBER, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer de l'Autriche;

2^e section : M. BELFAIRE, administrateur des chemins de fer de l'État belge;

3^e *section* : M. GRIOLET, administrateur des chemins de fer du Nord français;

4^e *section* : M. le commandeur FRANCESCO BRIOSCHI, sénateur du royaume d'Italie;

5^e *section* : M. HEURTEAU, directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans.

Il me reste, messieurs, à vous prier de vous réunir immédiatement dans vos sections respectives pour régler l'ordre de vos travaux.

— La séance est levée à 3 heures 1/2.

INSTALLATION DES SECTIONS

A l'issue de la séance solennelle d'ouverture, les diverses sections se sont réunies dans les locaux qui leur ont été réservés au Palais de l'Industrie, pour se constituer et régler l'ordre de leurs travaux.

1^{re} SECTION, — VOIES ET TRAVAUX.

La séance est ouverte sous la présidence provisoire de M. MAX VON LEBER, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer de l'Autriche, membre de la Commission internationale.

M. le Président. Messieurs, la Commission internationale s'est réunie hier soir, dans le but de vous soumettre des propositions concernant la formation du bureau de votre section. Elle a pensé qu'il convenait de choisir, autant que possible, dans toutes les nationalités les membres appelés à remplir les fonctions de président et de secrétaire. C'est en s'inspirant de cette pensée, — et en tenant compte, en outre, de la nécessité de prendre un homme de métier pour présider chaque section, — que la Commission vous propose d'appeler au fauteuil de la présidence de la 1^{re} section, sir ANDREW FAIRBAIRN, ancien membre du Parlement anglais, et administrateur de la Compagnie anglaise du Great Northern Railway. (*Acclamations.*)

Dans le même ordre d'idées, je vous propose de lui adjoindre, comme secrétaire principal, M. A. PERK, membre de la Commission militaire permanente des chemins de fer des Pays-Bas, délégué de la Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais; et comme secrétaire adjoint, M. A. SCHELLER, inspecteur de l'exploitation des chemins de fer du Nord français. (*Applaudissements.*)

Je prie ces messieurs de venir prendre place au bureau.

Sir A. Fairbairn prend place au fauteuil de la présidence et s'exprime en ces termes :

Messieurs, je vous remercie bien cordialement de l'honneur que vous avez fait, non seulement à moi-même, mais surtout à l'Angleterre, en m'appelant au poste de président de la 1^{re} section. Je crains fort de n'avoir pas les aptitudes voulues pour m'acquitter de ma tâche; mais je sais que je puis compter sur le concours d'hommes qui ont étudié pratiquement les questions dont nous aurons à nous occuper, et j'ai la certitude que leur bienveillance ne me fera pas défaut. (*Applaudissements.*)

Je vous remercie, messieurs, et vous donne rendez-vous ici même lundi prochain, à 9 heures du matin, pour commencer nos travaux.

— La séance est levée.

2^e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

La séance est ouverte sous la présidence provisoire de M. BELPAIRE, administrateur des chemins de fer de l'État belge, vice-président de la Commission internationale.

M. le Président. J'ai l'honneur, messieurs, de vous informer que j'ai été délégué par la Commission internationale pour présider la première partie de cette séance. La Commission internationale a pensé que la présidence de la 2^e section devait être dévolue à l'Italie. J'ai en conséquence l'honneur de vous proposer comme président M. CÉSAR FRESCOT, ingénieur et directeur du service du matériel des chemins de fer de la Méditerranée. M. Frescot s'est beaucoup occupé, vous le savez aussi bien que moi, de questions de traction. Il pourra en conséquence nous guider parfaitement dans les travaux que nous aurons à entreprendre ces jours-ci. (*Applaudissements.*)

Nous avons également à nommer un secrétaire. M. CLÉRAULT, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Ouest français, me semble tout désigné pour nous rendre le plus de services possible et aider notre président dans la tâche qu'il aura à remplir. (*Adhésion générale.*)

Le bureau est constitué. Je me retire en priant M. Frescot de bien vouloir me remplacer au fauteuil de la présidence.

— M. Frescot, président, et M. Clérault, secrétaire principal, prennent place au bureau.

M. Frescot, président. Je dois vous remercier, messieurs, de l'honneur que vous m'avez fait en me nommant président de cette importante section. Je ferai tout mon possible pour justifier votre confiance. Permettez-moi de compter sur votre indulgence.

M. Henry (*France*). Il serait bon d'indiquer l'ordre dans lequel les questions pourront être examinées le premier jour.

M. Belpaire. Ne serait-il pas bon de suivre l'ordre dans lequel les questions nous sont soumises? Je crois que tout le monde se sera préparé en conséquence. La première question à discuter est celle qui concerne le matériel. M. Banderali en est le rapporteur.

M. le Président. Je pense, messieurs, que pour aujourd'hui nous pouvons clore notre première séance, et renvoyer notre prochaine réunion à lundi 16 septembre, à 9 heures précises du matin. (*Adhésion.*)

— La séance est levée.

3^e SECTION. — EXPLOITATION.

M. Fassiaux, président de la Commission internationale du Congrès. On vient de me dire, messieurs, que pour ne pas vous faire attendre, il convenait que quelqu'un remplaçât M. GRIOLET, membre de la Commission internationale, qui a été désigné pour ouvrir vos débats et qui est empêché.

La Commission internationale est d'avis que la présidence de votre section pourrait être offerte à M. JULES DE LUDWIGH, conseiller ministériel et président de la direction des chemins de fer de l'État hongrois. Il est ici présent. Sa haute compétence n'est pas contestable, et je suis convaincu qu'il dirigera brillamment vos débats. Si vous acceptez cette proposition, M. DE LUDWIGH sera nommé président. (*Applaudissements.*)

Quant au secrétaire, nous avons pensé que M. DE ESPERGUEIRA, inspecteur général des chemins de fer de l'État portugais, remplirait parfaitement ces fonctions. (*Marques d'adhésion.*)

M. De Laveleye, secrétaire général. La Commission vous propose de choisir en qualité de secrétaire adjoint M. COSSMANX, ingénieur du service technique de l'exploitation du chemin de fer du Nord français. Il est ici présent, nous espérons qu'il acceptera. (*Applaudissements.*)

M. de Ludwig prend place au fauteuil de la présidence et prononce les paroles suivantes :

Messieurs, permettez-moi de vous offrir mes sincères remerciements pour l'honneur que vous me faites en approuvant la proposition qui vient de vous être soumise. Je sais très bien que chacun de vous eût mieux rempli les fonctions qui m'incombent, et que ce n'est pas à mon mérite personnel que je dois l'honneur de la présidence, mais bien à votre courtoisie envers ceux qui sont venus de loin. Si j'ose accepter néanmoins cette place de confiance, c'est que je compte sur votre bienveillance et sur votre appui dans la tâche qui m'est dévolue. (*Applaudissements.*)

4^e SECTION. — ORDRE GÉNÉRAL.

M. Brioschi, sénateur du royaume d'Italie, membre de la Commission internationale, remplit les fonctions de président provisoire et propose, au nom de la Commission internationale, la nomination de M. NOBLEMAIRE, directeur du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, en qualité de président de la 4^e section. (*Applaudissements.*)

M. Noblemaire prend place au fauteuil de la présidence.

M. le Président. Je vous propose la nomination comme secrétaire de M. DE PERL, directeur gérant du service international de la Grande Société des chemins de fer russes. (*Applaudissements.*)

Le bureau est donc définitivement constitué.

M. le Président. Messieurs, après les discours aussi nombreux qu'éloquents que vous venez d'entendre en séance plénière, ce n'est plus un discours que vous attendez de moi. Je ne puis cependant me dispenser de vous remercier de la preuve d'amitié et surtout de la preuve de confiance que vous avez bien voulu me donner en m'appelant à présider vos délibérations.

Je ne vous surprendrai pas en vous disant, sans modestie, que je ne suis pas autrement rassuré sur la manière dont je pourrai guider vos débats. Lorsque mes collègues français m'ont fait l'honneur de me désigner à la Commission internationale pour la présidence d'une section, c'était à coup sûr moins en raison de mes mérites personnels que parce que je suis à la tête du réseau le plus important de France, et aussi parce que je suis, je voudrais encore pouvoir le dire, le moins

jeune de mes collègues des chemins de fer français. C'est à ces titres que j'accepte volontiers l'honneur que vous voulez bien me conférer.

Depuis que je suis à la tête de la grande Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, j'ai pu constater à plusieurs reprises que, pour le chef qui doit commander à des collaborateurs tels que ceux que j'ai autour de moi, la plus grosse difficulté est de se tenir à la hauteur de ses subordonnés. J'éprouverai ici la même difficulté.

Au milieu de personnalités éminentes et expérimentées auxquelles sont familières les questions que nous avons à traiter, je me trouverai fort embarrassé si je ne suis assisté et soutenu par votre bienveillance, sur laquelle je me permets de compter.

De mon côté, soyez-en bien convaincus, je ferai de mon mieux pour suivre, pour diriger, s'il y a lieu, vos délibérations de la façon la plus utile à l'intérêt commun et aussi de façon telle qu'avant la fin de nos travaux il se soit établi entre nous des relations cordiales et même amicales.

M. de Perl. Je dois également vous remercier, messieurs, de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant aux fonctions de secrétaire. Je n'ajouterai qu'un mot : c'est qu'avec le président que vous avez choisi, ma tâche ne sera pas difficile.

M. le Président. La section n'ayant aujourd'hui à son ordre du jour que la nomination de son bureau, nous pouvons nous ajourner à lundi pour entamer alors la discussion des différentes questions qui nous sont soumises.

— La séance est levée.

5^e SECTION. — CHEMINS DE FER SECONDAIRES.

M. Heurteau, directeur des chemins de fer d'Orléans, membre de la Commission internationale, prend place au fauteuil de la présidence et prononce les paroles suivantes :

Messieurs, l'honneur que vous m'avez fait il y a deux ans en m'appelant à présider vos travaux me fournit l'occasion de vous souhaiter la bienvenue. Ma mission consiste uniquement à procéder à l'installation de votre bureau définitif.

Pour la présidence, la Commission internationale a l'honneur de vous proposer la nomination de M. JULES URBAN, directeur général du chemin de fer Grand Central Belge, dont vous connaissez tous la très grande compétence en matière de

chemins de fer et particulièrement en ce qui concerne la question des chemins de fer secondaires dont vous aurez à vous occuper.

Si aucune autre proposition ne se produit, je déclarerai M. Jules Urban élu par acclamation président de la 5^e section. (*Applaudissements.*)

Je vous propose de désigner pour remplir les fonctions de secrétaire principal, M. C. DE BURLET, directeur général de la Société nationale belge des chemins de fer vicinaux, et pour celles de secrétaire adjoint, M. DE BACKER, directeur général de la Société générale des chemins de fer économiques. (*Applaudissements.*)

M. Jules Urban remplace M. Heurteau au fauteuil de la présidence et s'exprime en ces termes :

Je remercie d'abord l'honorable M. Heurteau des paroles élogieuses qu'il a prononcées à mon adresse.

Je vous suis très reconnaissant, messieurs, d'avoir bien voulu m'appeler à l'honneur de présider vos travaux.

En prenant possession de ce fauteuil, je n'ai pas à vous rappeler la manière distinguée dont il a été occupé il y a deux ans à Milan par l'honorable M. Heurteau; vous ne pouvez pas l'avoir oublié.

L'honorable M. Heurteau a dirigé nos débats avec un réel talent. Il a donné la preuve de sa haute compétence dans la matière que nous avons eu à traiter, et, en assemblée plénière, il a résumé nos discussions avec une admirable lucidité.

Je suis donc persuadé d'être votre interprète, messieurs, en renouvelant à M. Heurteau les félicitations qui lui ont déjà été adressées à Milan. (*Applaudissements.*)

Je suis très fier de lui succéder; mais malheureusement je ne puis avoir la prétention de le remplacer.

Je ferai néanmoins tout ce qui dépendra de moi pour être à la hauteur de ma tâche; mais je vous prierai de bien vouloir m'aider à la mener à bonne fin. (*Applaudissements.*)

— La séance est levée.

COMPOSITION DES BUREAUX

Bureau de la troisième session du Congrès.

Présidents d'honneur :

MM. YVES GUYOT, ministre des travaux publics de France ;
le baron ALPHONSE DE ROTHSCHILD, président du conseil d'administration du chemin de fer du Nord français.

Président :

M. ALFRED PICARD, président de la section des travaux publics au conseil d'État français.

Vice-Présidents :

MM. ORTIZ VIOLA, premier secrétaire de la légation de la République Argentine à Paris (délégué du gouvernement argentin) ;

MAX EDLER VON LEBER, inspecteur du corps I. et R. de la surveillance générale des chemins de fer, au ministère du commerce de l'Autriche (délégué du gouvernement autrichien) ;

JULES DE LUDWICH, conseiller ministériel et président de la direction des chemins de fer de l'État hongrois (délégué du gouvernement hongrois) ;

A. FASSIAUX, secrétaire général du ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique (délégué du gouvernement belge) ;

YORGE RADEMAKER-GRUNDWALD, ingénieur civil (délégué du gouvernement brésilien : ministère des travaux publics, du commerce et de l'agriculture) ;

P. NICOLOFF, ingénieur, directeur des chemins de fer de l'État bulgare (délégué du gouvernement bulgare) ;

MM. le capitaine **A. THYS**, officier d'ordonnance de **S. M. le roi des Belges**, directeur général de la Compagnie des chemins de fer du Congo (délégué de l'État indépendant du Congo);

SCANDER BEY FAHMY, chef du mouvement des chemins de fer de l'État égyptien (délégué du gouvernement égyptien);

AMADO DE LAZARO Y FIGUERAS, inspecteur général des ponts et chaussées d'Espagne (délégué du gouvernement espagnol);

GAY, conseiller d'État, directeur des chemins de fer au ministère des travaux publics de France (délégué du gouvernement français);

le général **CHARLES SCROPE HUTCHINSON** (délégué du gouvernement britannique);

JOHN BLACKETT, membre de l'Institut des ingénieurs civils, ingénieur consultant (délégué du gouvernement de la colonie de la Nouvelle-Zélande);

E. BRADDON, agent général du gouvernement pour la colonie (délégué du gouvernement de la colonie de Tasmanie);

HARRY SEWARD (délégué du gouvernement de la colonie de Victoria);

A. GOTTELAND, ingénieur en chef, directeur du service des chemins de fer helléniques (délégué du gouvernement hellénique);

CRISANTO MEDINA, envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la République de Guatémala à Paris (délégué du gouvernement de la République de Guatémala);

le commandeur professeur **FRANCESCO BRIOSCHI**, sénateur du royaume d'Italie (délégué du gouvernement italien);

T. OHYAMA, secrétaire de la légation du Japon à Paris (délégué du gouvernement japonais);

LOUIS SALAZAR, ingénieur civil (délégué du gouvernement mexicain : ministère de l'encouragement, de la colonisation, de l'industrie et du commerce);

J. J. VAN KERKWKYK, membre de la seconde Chambre des États-Généraux des Pays-Bas (délégué du gouvernement néerlandais);

EDOUARD J. HABICH, ingénieur de l'État et directeur de l'École de constructions et des mines à Lima (délégué du gouvernement péruvien);

MM. BENTO FORTUNATO DE MOURA CONTINHO D'ALMEIDA D'EÇA, conseiller, directeur général des travaux publics et des mines du royaume de Portugal (délégué du gouvernement portugais);

le général **A. BERINDEI**, membre du conseil d'administration des chemins de fer de l'État roumain (délégué du gouvernement roumain);

VLADIMIR WERCHOVSKY, conseiller d'État actuel, ingénieur, directeur du département des chemins de fer russes (délégué du gouvernement russe);

FREDRIK ALMGREN, administrateur des chemins de fer de l'État suédois (délégué du gouvernement suédois);

A. D. S. HJORTH, ancien lieutenant-colonel, membre de la direction générale des chemins de fer de l'État norvégien (délégué du gouvernement norvégien);

FARNER, inspecteur administratif au département des chemins de fer suisses (délégué du gouvernement fédéral).

Secrétariat général.

Secrétaire général :

M. AUGUSTE DE LAVELEYE, ingénieur.

Secrétaire :

M. EUGÈNE KESTELOOT, chef de division au ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique.

Secrétaires adjoints :

MM. ÉDOUARD HOLEMANS, chef de division au ministère des chemins de fer, postes et télégraphes de Belgique;

LOUIS WEISSENBRUCH, ingénieur au même ministère.

Membre correspondant du Comité de direction, adjoint au secrétariat général :

M. PAUL BRANE.

Bureaux des sections.

1^{re} SECTION. — VOIES ET TRAVAUX.

Président :

SIR ANDREW FAIRBAIRN, ancien membre du Parlement anglais, administrateur du Great Northern Railway.

Secrétaire principal :

M. H. A. PERK, membre de la commission militaire permanente des chemins de fer des Pays-Bas.

Secrétaire adjoint :

M. A. SCHOELLER, inspecteur de l'exploitation du chemin de fer du Nord français.

2^e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

Président :

M. CÉSAR FRESCOT, ingénieur, directeur du service du matériel des chemins de fer italiens de la Méditerranée.

Secrétaire principal :

M. CLERAULT, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Ouest français.

3^e SECTION. — EXPLOITATION.

Président :

M. JULES DE LUDWICH, conseiller ministériel et président de la direction des chemins de fer de l'État hongrois.

Secrétaire principal :

M. M. A. DE ESPERGUEIRA, inspecteur général des chemins de fer de l'État portugais.

Secrétaire adjoint :

M. COSSMANN, ingénieur du service technique de l'exploitation du chemin de fer du Nord français.

4^e SECTION. — QUESTIONS D'ORDRE GÉNÉRAL.

Président :

M. NOBLEMAIRE, directeur de la Compagnie française des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Secrétaire principal :

M. L. DE PERL, conseiller d'État, directeur gérant du service international de la grande Société des chemins de fer russes.

5^e SECTION. — CHEMINS DE FER SECONDAIRES.

Président :

M. JULES URBAN, directeur général du chemin de fer Grand Central Belge.

Secrétaire principal :

M. CONSTANTIN DE BURLET, directeur général de la Société nationale belge des chemins de fer vicinaux.

Secrétaire adjoint :

M. H. DE BACKER, ingénieur, directeur général de la Société générale belge des chemins de fer économiques.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES, DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

RELATIFS AUX

DIVERSES QUESTIONS DU PROGRAMME

QUESTION 1, LITTÉRA A

QUALITÉ DU MÉTAL DES RAILS

ET DES

ACCESSOIRES DE LA VOIE

*Résultats acquis par l'emploi de métal de qualités différentes pour les rails
et les accessoires de la voie ; chercher à déterminer dans chaque cas celle
à laquelle il faut donner la préférence.*

QUESTION I, LITTÉRA A

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|--|---------------|
| Exposé par M. BRICKA. | I-A — 3 |
| 1 ^{re} note par M. HALLOPEAU (16 figures) | I-A — 15 |
| 2 ^e — par M. WERCHOVSKY (pl. I) | I-A — 69 |
| Discussion en section | I-A — 86 |
| Discussion en séance plénière et conclusions | I-A — 92 |

EXPOSÉ

Par BRICKA

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
INGÉNIEUR EN CHEF DE LA VOIE ET DES BATIMENTS AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT FRANÇAIS

La qualité de métal à rechercher pour les rails et pour les accessoires de la voie diffère selon la nature et le rôle des pièces; il y a donc lieu d'examiner séparément ce qui concerne d'abord les rails, puis les éclisses, selles, coussinets, boulons, tire-fond et traverses. Nous ne nous occuperons, en ce qui concerne les rails, que des diverses qualités d'acier, les ingénieurs des chemins de fer étant aujourd'hui unanimes pour reconnaître que le fer soudé doit être écarté dans tous les cas.

1° RAILS.

Exposé. — Les conditions imposées aux fournisseurs par un grand nombre d'Administrations de chemins de fer des divers États de l'Europe sont résumées dans les tableaux annexés au présent rapport. Comme ces conditions diffèrent naturellement entre elles, et ne sont pas comparables, nous y avons ajouté les conditions de résistance et d'allongement qui caractérisent, dans chaque cas, la

qui s'est réunie à Berlin les 14 et 15 juillet 1884; ces dernières peuvent se résumer de la manière suivante :

« Les rails paraissent être d'autant plus exposés à la rupture, qu'ils sont plus durs; par contre, les rails durs résistent mieux à l'usure que les rails doux.

« Il paraît que la pureté complète du métal exerce, dans les deux cas, une grande influence sur la durée des rails. On n'a nullement observé que les rails plus doux présentent plus de résistance à l'usure que les rails plus durs. »

Des observations poursuivies pendant sept ans par M. Post sur la ligne de Venlo à Eindhoven (chemins de fer de l'État néerlandais) ont montré également que des rails durs (résistance 75 kilogrammes) s'usaient notablement moins que des rails doux (résistance de 52 à 60 kilogrammes) placés dans les mêmes conditions.

Des observations de même nature ont été faites sur le réseau de la Suisse occidentale et du Simplon, où les rails durs de fabrication française (résistance de 70 à 75 kilogrammes) s'usent moins que les rails doux de fabrication allemande (résistance de 60 à 65 kilogrammes).

Enfin, d'après les renseignements qui nous ont été fournis, la pratique a conduit les ingénieurs anglais à admettre d'une manière générale que l'acier pour rails doit être aussi dur qu'il est possible de l'obtenir sans qu'il soit cassant, et la même conclusion a été formulée par l'ingénieur suédois Sandberg dans une publication très connue sur la durée des rails d'acier ⁽¹⁾.

Détériorations accidentelles. — Dans l'état actuel de la fabrication, c'est, non par l'usure régulière, mais par les détériorations accidentelles que périssent la plupart des rails. Ces détériorations ont une importance d'autant plus grande qu'elles commencent à se produire très peu après la pose des rails, tandis que la mise hors de service par l'usure régulière renvoie, sur la plupart des lignes, les remplacements qui en seront la conséquence à une époque extrêmement éloignée.

Si on laisse de côté les accidents dus à un perçage défectueux des trous des boulons d'éclisses, les détériorations accidentelles se produisent en général sous forme de ruptures transversales ou de fentes longitudinales; ces dernières sont dues aux soufflures qui, comme on le sait, existent toujours en plus ou moins forte proportion dans le métal fondu.

Dans les rapports déjà cités, M. Dudley avait émis, au sujet des détériorations accidentelles, le même avis qu'au sujet de l'usure; mais il suffit de se reporter à l'analyse qu'il donne des rails avariés en service (carbone, 0.366; manganèse,

(1) *Revue universelle des mines*, 1886.

0.521; phosphore, 0.132; silicium, 0.047) pour reconnaître qu'ils sont trop phosphoreux, c'est-à-dire mauvais. M. Cazes a d'ailleurs montré, dans sa communication à l'Iron and Steel Institute, que, sur la ligne de Cologne à Minden, où les rails ont à peu près la composition chimique préconisée par M. Dudley, la proportion des rails remplacés chaque année est à peu près le double de la proportion des rails remplacés sur le réseau du Midi français. M. Couard a démontré également ⁽¹⁾ que sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, ce sont les rails les plus durs qui résistent le mieux aux détériorations accidentelles.

La Compagnie de la Nord-Westbahn (Autriche) a constaté que les rails en acier Bessemer, qui sont durs, sont beaucoup moins sujets aux détériorations accidentelles que les rails en acier Thomas, qui sont doux; dans des sections en pente de dix millimètres par mètre, 0.62 p. c. seulement des rails en acier Bessemer ont été remplacés après un parcours de 21,700,000 tonnes, tandis que, dans les mêmes conditions, les remplacements de rails en acier Thomas ont été de 2.55 p. c. après un parcours de 11,610,000 tonnes et de 1.75 p. c. après un parcours de 11,690,000 tonnes.

Il n'est du reste pas contesté que les soufflures qui produisent dans les rails en acier fondu des fentes longitudinales et entraînent ainsi leur mise au rebut sont plus nombreuses et plus importantes dans le métal obtenu par le procédé Thomas, qui ne peut donner que des produits doux, que dans le métal obtenu par le procédé Bessemer, qui donne normalement des produits durs.

Parmi les détériorations accidentelles qui peuvent influencer, sinon sur la durée des rails, au moins sur la qualité des voies, il faut compter les déformations permanentes; celles-ci sont évidemment d'autant plus nombreuses que la limite d'élasticité est moins élevée, et d'autant plus prononcées que le métal est moins raide, c'est-à-dire que son allongement est moindre. A ce point de vue, les rails durs sont incontestablement supérieurs.

Danger des ruptures. — La supériorité de l'acier dur sur l'acier doux au point de vue de l'usure peut être considérée comme généralement admise; il en est de même au point de vue des détériorations accidentelles autres que les ruptures transversales. La préférence accordée à l'acier doux ou demi-doux par le plus grand nombre des Administrations de chemins de fer de l'Europe a pour cause unique la crainte de la fragilité de l'acier dur et des accidents que peuvent occasionner les ruptures brusques, surtout dans les contrées froides.

Nous avons cité plus haut les conclusions de la dixième assemblée technique

⁽¹⁾ *Revue générale des chemins de fer*, mai 1883.

nature de l'acier demandé. L'étude de ces tableaux conduit aux conclusions suivantes :

En France, sauf la Compagnie de l'Est, qui emploie des rails en acier demi-doux d'une résistance de 55 à 60 par millimètre carré, toutes les Administrations de chemins de fer exigent des aciers durs, d'une résistance supérieure à 70 kilogrammes; ce minimum est même porté à 75 kilogrammes par la Compagnie d'Orléans et l'Administration des chemins de fer de l'État, et à 80 kilogrammes par la Compagnie du Midi. (Les rails de ces trois réseaux sont à double champignon; ce profil, comme on le verra plus loin, se prête mieux que le profil Vignoles à l'emploi du métal le plus dur.)

En Angleterre, en Belgique et en Espagne, on emploie le métal moyennement dur, dont la résistance varie entre 60 et 70 kilogrammes.

En Allemagne, en Autriche, en Hollande et en Suisse, la qualité du métal exigé correspond en général à une résistance de 50 à 60 kilogrammes, c'est-à-dire à de l'acier presque doux.

Pour compléter ces renseignements, il convient d'ajouter que l'Union des maîtres de forges allemands, dans un cahier de prescriptions pour la fourniture du fer et de l'acier, qu'elle vient d'élaborer, propose de réduire à 45 kilogrammes le minimum de résistance de l'acier pour rails; d'après les renseignements qui nous ont été fournis, il serait possible que cette réduction fût admise par l'Union (*Verein*) des chemins de fer allemands.

On voit, par ce qui précède, que tous les degrés de dureté sont admis pour les rails; les différents motifs qui peuvent influencer sur le choix de la qualité sont : la résistance à l'usure, la résistance à la rupture et aux détériorations accidentelles, le mode de fabrication, enfin le profil du rail. Nous les examinerons successivement.

Usure. — Il paraît aujourd'hui établi que, dans les conditions normales, les rails durs résistent mieux à l'usure que les rails doux; toutefois, cette question a donné lieu, au moins en France et en Angleterre, à des controverses qu'il nous paraît utile de rappeler.

A la suite d'études faites sur les rails de la Pennsylvania Railroad Company, M. Dudley a publié, en 1878 et en 1881, dans les *Transactions* de l'American Institute of mining Engineers, un rapport concluant à la supériorité, au point de vue de l'usure, des rails doux sur les rails durs; cette conclusion concordait avec celles qu'avaient émises, en 1875 et 1876, dans les procès-verbaux de l'Institut des ingénieurs civils d'Angleterre, MM. Smith, directeur du Barrow-Hematite Steel Works, et Price Williams. Dans un mémoire inséré dans les *Annales des mines* (1881, tome II) et dans les *Annales des ponts et chaussées*

(1882, tome I) de France, M. Gruner, discutant les observations de MM. Dudley, Smith et Price Williams, adoptait leurs conclusions en faveur de la supériorité de l'acier doux, mais en faisant observer que l'usure plus rapide de l'acier dur était due aux matières étrangères qu'il renfermait (phosphore, manganèse, silicium), et que, si ce métal était simplement plus carburé, il serait non seulement plus dur, mais plus résistant.

Les observations de MM. Dudley, Smith et Price Williams ont été discutées de nouveau et, cette fois, combattues dans un mémoire présenté en mai 1883 à la réunion de l'Iron and Steel Institute par M. Cazes, ingénieur du matériel fixe à la Compagnie des chemins de fer français du Midi. Après avoir fait ressortir qu'en groupant autrement les résultats donnés par M. Dudley, on peut en déduire des conclusions exactement contraires à celles qu'il en a tirées, M. Cazes montre que ces résultats, comme ceux de MM. Smith et Price Williams, ne sont pas assez homogènes pour fournir les bases d'une étude sérieuse. Comparant ensuite les rails de la Compagnie du Midi, qui sont exceptionnellement durs, avec ceux du chemin de fer de Pensylvanie étudiés par M. Dudley, qui sont en acier doux ou demi-doux, il établit la supériorité des premiers sur les seconds. Il fait observer, d'ailleurs, que deux aciers de même dureté peuvent avoir des compositions chimiques différentes, et que deux aciers de même composition chimique peuvent avoir des propriétés différentes, selon les opérations mécaniques qu'ils ont subies.

Les études très complètes publiées dans la *Revue des chemins de fer* (1) par M. Coüard, inspecteur principal de la voie à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, ont établi d'une manière précise : 1° que dans les voies des réseaux compris dans l'Association des chemins de fer allemands (*Verein*), qui sont en acier doux (résistance de 50 à 60 kilogrammes), les rails s'usent en moyenne, à égalité de trafic, deux fois plus vite que dans les voies de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, qui sont en acier dur (résistance de 70 à 75 kilogrammes), et que cette différence doit être attribuée exclusivement à la qualité du métal ;

2° Que, dans les voies de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, les rails qui s'usent le moins sont ceux qui ont donné aux épreuves les résultats les plus satisfaisants au point de vue de la dureté ;

3° Que, toutefois, l'acier doux s'est montré supérieur à l'acier dur dans les parties où les roues des véhicules patinent fréquemment et dans les tunnels.

Les conclusions de M. Coüard sont d'accord avec celles qui ont été formulées par la dixième assemblée technique de l'Union des chemins de fer allemands,

(1) *Revue des chemins de fer*, mai 1883, mars 1884, juin 1884, avril 1886, juin 1889.

de l'Association des chemins de fer allemands; les renseignements qui nous ont été fournis montrent que c'est uniquement par crainte des ruptures que les Administrations de chemins de fer d'Angleterre, de Suède, de Belgique, de Hollande, d'Allemagne et la plupart des Compagnies autrichiennes préfèrent à l'acier dur, les trois premières l'acier demi-doux, et les autres l'acier tout à fait doux.

Les résultats donnés par l'emploi des rails durs sur les réseaux où ils sont employés devraient, comme on va le voir, conduire à une conclusion contraire, si la question de provenance du métal n'entraîne pas en ligne de compte.

Dans un mémoire déjà cité, M. Cazes a montré que, pendant une période de temps à peu près égale, le nombre des ruptures de rails sur le réseau du chemin de fer de Cologne à Minden, où les rails sont en acier demi-doux, a été de 2.58 pour mille, alors que sur le réseau du Midi français, où les rails sont en acier très dur, il n'était que de 0.69 par mille, soit à peu près quatre fois moindre ⁽¹⁾.

M. Colliard a démontré que, sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, ce sont les rails les plus durs qui se rompent le moins fréquemment.

Une observation analogue et encore plus concluante nous a été communiquée par la direction du réseau de la Suisse occidentale et du Simplon : des rails de Firminy et du Creusot, d'une résistance de 75 à 80 kilogrammes, posés, les premiers de 1871 à 1873, et les seconds de 1873 à 1885, ont donné, sur ce réseau, des proportions de rails rompus de 1.538 et de 0.866 par mille, tandis que, pour des rails Krupp posés de 1878 à 1882, cette proportion a été de 2.438 par mille.

Enfin, des études récentes de la Société technique impériale de Russie ont montré que, dans ce pays, ce sont les rails les plus durs qui ont le mieux résisté, non seulement à l'usure, mais à la rupture ⁽²⁾.

Nous ne possédons pas les éléments nécessaires pour établir la comparaison du nombre de ruptures de rails brisés sur les réseaux où l'on emploie l'acier dur et sur ceux où l'on emploie l'acier doux. Ce travail, pour être fait utilement, exigerait la connaissance de l'âge des voies et de l'importance du trafic; mais les

⁽¹⁾ Il convient de faire observer, à ce sujet, que le climat de la région où est située la ligne de Cologne à Minden est plus froid que celui de la région dans laquelle se trouve le réseau du Midi, et que les ruptures de rails sont normalement plus nombreuses lorsque la température est plus basse.

⁽²⁾ Extrait d'une note de M. Werchowski, inspecteur en chef de l'inspection générale des chemins de fer de Russie. La note de M. Werchowski confirme ce que nous disons plus loin au sujet du mode de fabrication des rails : la qualité des rails dont elle donne les analyses varie en raison inverse de la proportion de phosphore qu'ils contiennent.

ption des rails d'acier.

| COMPAGNIES. | FORME ET DES RAILS | — CHOC. | | QUATRIÈME ÉPREUVE | CINQUIÈME ÉPREUVE. | QUALITÉ DU MÉT | |
|-------------|--------------------|---------------------------------|--|---------------------|--------------------|-----------------|-----|
| | | s de la barre cassée à la suite | | Sous forme | — | CORRESPONDA | |
| | | 2. | | DE LAME DE RESSORT. | TREMPE. | AUX ÉPREUVES ET | |
| | | DES Flexions proportionnelles | | Prescrites | Prescrites | Résistance | All |
| | RAIL | aux | | par le | par le | par | n |
| | | hauteurs de chute. | | cahier des charges | cahier des charges | millimètre | mes |
| | | | | à titre | à titre | carré. | 200 |
| | | | | de renseignement. | de renseignement. | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

(*) La résistance et l'allongement mettre la comparaison entre les différentes qualités d'acier correspondant aux épreuves exigées.

C)

| DATE | DESCRIPTION | AMOUNT | BALANCE |
|------|-------------|--------|---------|
| 1900 | | | |
| 1901 | | | |
| 1902 | | | |
| 1903 | | | |
| 1904 | | | |
| 1905 | | | |
| 1906 | | | |
| 1907 | | | |
| 1908 | | | |
| 1909 | | | |
| 1910 | | | |
| 1911 | | | |
| 1912 | | | |
| 1913 | | | |
| 1914 | | | |
| 1915 | | | |
| 1916 | | | |
| 1917 | | | |
| 1918 | | | |
| 1919 | | | |
| 1920 | | | |
| 1921 | | | |
| 1922 | | | |
| 1923 | | | |
| 1924 | | | |
| 1925 | | | |
| 1926 | | | |
| 1927 | | | |
| 1928 | | | |
| 1929 | | | |
| 1930 | | | |
| 1931 | | | |
| 1932 | | | |
| 1933 | | | |
| 1934 | | | |
| 1935 | | | |
| 1936 | | | |
| 1937 | | | |
| 1938 | | | |
| 1939 | | | |
| 1940 | | | |
| 1941 | | | |
| 1942 | | | |
| 1943 | | | |
| 1944 | | | |
| 1945 | | | |
| 1946 | | | |
| 1947 | | | |
| 1948 | | | |
| 1949 | | | |
| 1950 | | | |
| 1951 | | | |
| 1952 | | | |
| 1953 | | | |
| 1954 | | | |
| 1955 | | | |
| 1956 | | | |
| 1957 | | | |
| 1958 | | | |
| 1959 | | | |
| 1960 | | | |
| 1961 | | | |
| 1962 | | | |
| 1963 | | | |
| 1964 | | | |
| 1965 | | | |
| 1966 | | | |
| 1967 | | | |
| 1968 | | | |
| 1969 | | | |
| 1970 | | | |
| 1971 | | | |
| 1972 | | | |
| 1973 | | | |
| 1974 | | | |
| 1975 | | | |
| 1976 | | | |
| 1977 | | | |
| 1978 | | | |
| 1979 | | | |
| 1980 | | | |
| 1981 | | | |
| 1982 | | | |
| 1983 | | | |
| 1984 | | | |
| 1985 | | | |
| 1986 | | | |
| 1987 | | | |
| 1988 | | | |
| 1989 | | | |
| 1990 | | | |
| 1991 | | | |
| 1992 | | | |
| 1993 | | | |
| 1994 | | | |
| 1995 | | | |
| 1996 | | | |
| 1997 | | | |
| 1998 | | | |
| 1999 | | | |
| 2000 | | | |
| 2001 | | | |
| 2002 | | | |
| 2003 | | | |
| 2004 | | | |
| 2005 | | | |
| 2006 | | | |
| 2007 | | | |
| 2008 | | | |
| 2009 | | | |
| 2010 | | | |
| 2011 | | | |
| 2012 | | | |
| 2013 | | | |
| 2014 | | | |
| 2015 | | | |
| 2016 | | | |
| 2017 | | | |
| 2018 | | | |
| 2019 | | | |
| 2020 | | | |
| 2021 | | | |
| 2022 | | | |
| 2023 | | | |
| 2024 | | | |
| 2025 | | | |
| 2026 | | | |

L. 4. 1...97

2000 1.4

... ..

~~SECRET~~ ~~CONFIDENTIAL~~ ~~SECRET~~

| COMPAGNIES. | CHOC. FORME ET I | QUATRIÈME ÉPREUVE SOUS FORME DE LAME DE RESSORT. | CINQUIÈME ÉPREUVE. — TREMPÉ. | QUALITÉ DU MÉTA CORRESPONDANT AUX ÉPREUVES EXIGÉES | |
|-------------|--|---|--|--|---|
| | | | | Résistance par millimètre carré. | Allon- men- mesuré 200 mil |
| | DES flexions proportionnelles RAILS aux hauteurs de chute. | Prescrites par le cahier des charges à titre de renseignement. | Prescrites par le cahier des charges à titre de renseignement. | | |
| ANGLETERRE. | London - Chatham and Dover. | Kilog. Double choc permanente après le pre- gnondiss. coup ne doit pas dépasser trique, 40 millimètres. mètre doit pas se casser avant le troisième coup. | Néant. | Néant. | 60 à 65 kil. 15 à 20 |
| | Great-Western. | ils, à la suite du deuxième ne donnent pas une flexion nte, ils doivent supporter sième coup avec le même 42.30 le tombant de 2"50 à 4"60; s'il courant, s symptômes de fracture, à e du troisième coup ou si, à te du deuxième coup, les onnent trop de flexion, ils refusés. | — | — | 60 à 65 — 15 à 20 |
| | Midland. | ne doit pas se casser à la e deux coups. " maxima tolérée, 75 milli- l. | — | — | 60 à 65 — 15 à 20 |
| | North-Eastern. | aux coups de mouton, il ne s y avoir trace de rupture fleche permanente doit être ure à 25 millimètres. | — | — | 50 à 55 — 18 à 22 |
| | South-Eastern. | Double ch- gnon, 42 mètre choc, 54 millimètres. — 90 — | — | L'acier du rail trem- pé doit pouvoir faire des outils de forge, ciseaux p' couper à froid, etc. | 60 à 65 — 15 à 20 |
| | Great-Northern. | D. C. dis- trique, 4 mètre choc, 54 millimètres. — 90 — | — | Néant. | " " |
| | London and North- Western. | " s rupture simplement. | — | — | 50 à 60 kil. 17 à 22 |
| ALLEMAGNE. | Chemins de fer de l'Etat prussien. | Vignoles, mètre cc " | — | — | 50 kilog. Contra- (minimum) 20.5 p (minimum) Somme de la rés- tance et de la c traction = 85 min |

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

chiffres que nous avons recueillis montrent que, si l'on tient compte du trafic et de l'ancienneté des voies, le nombre annuel des ruptures est extrêmement faible sur les réseaux français où l'on emploie l'acier dur. Sur le réseau du Midi, certains lots de rails en observation depuis dix-neuf ans n'ont pas présenté un seul cas de rupture; sur le réseau d'Orléans, en mettant de côté les rails de l'usine d'Aubin qui sont phosphoreux ⁽¹⁾, le nombre des ruptures pendant la même période ne dépasse pas 0 05 par mille et par an. Sur le réseau de l'Ouest, la même moyenne est de 0.024 pour les rails à double champignon, et de 0.064 pour les rails Vignoles. Sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, le nombre des ruptures de rails est de 10 par 100 kilomètres de voie; la longueur des rails varie de 6 à 12 mètres; en admettant une longueur moyenne de 8 mètres, on obtient une moyenne de 0.40 par mille et par an. Sur le réseau de l'État français où le trafic est faible, et où la plus grande partie des voies est relativement nouvelle, le nombre des ruptures est insignifiant.

Sur les réseaux où on emploie l'acier doux ou demi-doux, nous pouvons citer, d'après les documents qui nous ont été communiqués, les nombres suivants qui se rapportent au nombre de ruptures par mille et par an pour des périodes variables : réseau de l'Est français (de 1885 à 1889), 0.10; chemins de fer de l'État belge, 0.05; Jura-Berne-Lucerne, 0.45; Suisse occidentale et Simplon (fourniture Krupp), 0.30; réseau autrichien de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'État, 0.25; réseau Nord Empereur Ferdinand (Autriche), 0.22; chemins de fer de l'État suédois, 0.72.

Une opinion assez répandue est que les rails durs résistent moins bien au froid que les rails doux, et que, par suite, leur emploi n'est possible que dans les régions tempérées; le gouvernement suédois a même renoncé récemment à augmenter la dureté de ses rails, comme il en avait l'intention, à la suite d'expériences de M. Sandberg, dans lesquelles des rails contenant 0.04 de carbone avaient moins bien résisté aux épreuves par un temps froid que les rails qui n'en contenaient que 0.03. Les études de la Société technique impériale russe, que nous avons déjà citées, ont démontré, au contraire, que dans ce pays, où les limites de la température varient entre -20° et $+50^{\circ}$ centigrades, les rails les plus durs sont ceux qui se comportent le mieux en service. D'un autre côté, le réseau Paris-Lyon-Méditerranée et celui de la Suisse occidentale et du Simplon, où il est démontré également que les rails les plus durs sont ceux qui se sont le mieux comportés, sont situés en partie dans des régions où le climat est

(1) Le nombre de ruptures des rails d'Aubin met bien en évidence l'influence du phosphore dans les rails; ces rails, qui sont plus doux que ceux qui proviennent d'autres usines, ont donné une moyenne de 0.78 rupture par mille au lieu de 0.05.

plus rude que celui de la plus grande partie de l'Europe. Ce n'est donc pas par les conditions climatériques seules qu'on peut justifier les craintes qu'inspire l'acier dur; mais elles s'expliquent par les différences de qualité qui correspondent à ses divers modes de fabrication.

Mode de fabrication. — Comme l'ont fait remarquer tous les ingénieurs qui se sont occupés de l'acier, la dureté n'est qu'un des caractères physiques de ce métal, et le même degré de dureté peut correspondre à des compositions chimiques et à des qualités très différentes. L'influence du carbone, du manganèse, du silicium et du phosphore diffère non seulement d'après la proportion absolue de chacun d'eux, mais aussi d'après leurs proportions relatives.

Le phosphore constitue toujours un élément nuisible, mais il devient particulièrement dangereux lorsque la teneur en carbone est forte, c'est-à-dire lorsque l'acier est dur, car il le rend cassant. D'un autre côté, le carbone seul ne suffit pas pour donner un métal à la fois dur et peu flexible; il faut, pour réunir ces deux conditions, qu'il renferme un peu de silicium. Or, le procédé Bessemer, avec l'emploi de minerais très purs, tels que ceux de Bilbao, peut seul donner des produits offrant à la fois, pour une proportion quelconque de carbone, une teneur en phosphore faible et constante et une teneur en silicium suffisante. Le procédé Thomas ne donne directement que des produits tout à fait doux, car le phosphore ne commence à brûler qu'après l'élimination complète du silicium et l'élimination presque complète du carbone; pour obtenir des produits plus durs, il faut recarburer au moyen de fontes manganésifères, et cette opération n'a pu se faire jusqu'ici, malgré le soin qu'on peut mettre à faire écouler d'abord les scories, sans qu'une proportion de phosphore impossible à déterminer à l'avance soit remise en liberté et reste dans le métal; quant au silicium, les aciers obtenus par le procédé Thomas en sont toujours complètement dépourvus. Le procédé Martin sur sole basique ne donne pas de meilleurs résultats; il en est de même du procédé Martin acide lorsqu'on emploie de vieux rails en fer, qui sont presque toujours phosphoreux. Enfin, le procédé Martin acide, lorsqu'on emploie de la fonte ou du fer puddlé très purs, donnent un acier de bonne qualité, mais d'une dureté médiocre, à cause de l'absence du silicium.

Les faits qui précèdent sont aujourd'hui parfaitement établis; aussi, toutes les aciéries qui emploient le procédé Thomas ou qui refondent de vieux rails en fer au four Martin, ont-elles renoncé à produire des aciers durs; mais ce sont probablement les essais faits par elles dans ce sens qui ont amené beaucoup d'ingénieurs à considérer l'acier dur comme dangereux. La vérité est que les rails sont cassants non parce qu'ils sont durs, mais parce qu'ils sont mauvais et que les

rails durs sont infailliblement mauvais s'ils n'ont pas été fabriqués au moyen de minerai ou de fer de première qualité.

Profil du rail. — Le profil des rails doit influer également sur le choix de la qualité du métal, lorsqu'il s'agit d'acier dur : avec le rail Vignoles, l'acier dont la résistance dépasse la limite de 70 à 75 kilogrammes a besoin d'être chauffé très fortement avant le passage dans les cylindres, ou réchauffé pendant le cours de l'opération, ce qui, dans les deux cas, peut l'altérer. Il est moins ductile que l'acier doux. Dans les dernières cannelures, le patin est soumis à des efforts de traction plus élevés que le champignon et se refroidit plus rapidement; il tend à prendre la trempe au contact des cylindres et même simplement de l'air extérieur; enfin, en raison de la dissymétrie de sa forme, les barres ne sortent pas droites du laminoir et il faut les redresser, opération qui se fait généralement à froid. Toutes ces causes tendent à produire dans le métal des tensions moléculaires qui nuisent d'autant plus à sa résistance qu'il est plus dur. Aussi l'acier dont la résistance est supérieure à 75 kilogrammes donne-t-il des rails à double champignon résistant parfaitement à la rupture, tandis que les rails Vignoles qu'il produit sont cassants et par conséquent de mauvaise qualité.

Résumé et conclusions. — En résumé, on peut considérer aujourd'hui comme démontré que les rails en acier dur résistent mieux que les rails en acier doux, non seulement à l'usure normale (sauf dans des cas particuliers, tels que les parties où les roues patinent et dans les tunnels), mais aux détériorations accidentelles. Malgré la supériorité, à ce point de vue, des rails en acier dur, ceux-ci ne doivent être préférés que lorsque les conditions dans lesquelles ils ont été fabriqués donnent des garanties suffisantes au point de vue de leur composition chimique et, notamment, de leur teneur en phosphore; mais dans ce cas, et à la condition que la qualité du métal ait été constatée par des épreuves bien entendues, les rails en acier dur paraissent offrir, au point de vue du danger de rupture, autant de garanties que les rails en acier doux. Les rails à double champignon permettent, d'ailleurs, l'emploi d'un métal plus dur que les rails à patin; la résistance à la rupture peut être portée, pour les premiers, à 80 et même à 85 kilogrammes, tandis qu'elle ne doit pas dépasser 75 kilogrammes pour les seconds.

Pour les rails fabriqués soit par le procédé Thomas, soit par le procédé Martin sur sole basique, il n'est pas possible d'obtenir un acier de bonne qualité, si les conditions exigées correspondent à une résistance s'élevant au-dessus de 60 à 65 kilogrammes. Dans ces conditions encore, et à égalité de qualité, les rails les plus durs devront être préférés.

2° ÉCLISSES ET SELLES.

L'acier est aujourd'hui d'un emploi général pour les éclisses et les selles ; les différences entre les qualités de métal exigées sont peu sensibles. En France, on exige généralement une résistance de 50 à 60 kilogrammes ; en Allemagne et en Hollande, le minimum a été abaissé à 45 kilogrammes ; l'Union des maîtres de forges allemands, dans les prescriptions que nous avons déjà citées, a même proposé de le réduire à 40 kilogrammes, chiffre qui correspond à du fer fondu à peu près pur.

3° COUSSINETS.

Les coussinets pour les rails à double champignon se font exclusivement en fonte ; l'acier fondu moulé est employé pour les coussinets spéciaux des appareils de changement de voie, notamment par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, en France, et par les chemins de fer de l'État belge ; il donne de bons résultats ; mais, en tenant compte de la différence des prix, il n'offre d'avantages réels que dans les cas où la forme compliquée des coussinets se prête mal à l'emploi de la fonte. Il en est de même du fer forgé, qui est employé par la Compagnie des chemins de fer hollandais.

4° BOULONS ET TIRE-FOND.

Un certain nombre d'Administrations de chemins de fer emploient, au lieu de fer soudé, le fer fondu pour les boulons et tire-fond ; la qualité du métal employé est celle qui correspond à un minimum de résistance de 45 kilogrammes ; les écrous se font généralement en fer, à cause des difficultés que présente l'emploi de l'acier pour cette fabrication. D'après les renseignements fournis par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, en France, et par les Compagnies de la Sud-Bahn et de la Nord-Westbahn, en Autriche, les boulons et tire-fond en acier durent plus et sont moins sujets à se briser que les boulons et tire-fond en fer.

5° TRAVERSES.

Les traverses métalliques employées actuellement sont à peu près exclusivement en acier doux ; toutefois, certaines Administrations, notamment la Compagnie de la Ludwigsbahn (Allemagne), continuent à employer le fer soudé et en sont satisfaites. Il y a lieu, néanmoins, de remarquer que, lorsqu'il n'est pas de très bonne qualité, le fer soudé est exposé à se fendre longitudinalement.

L'acier doux employé pour les traverses métalliques a, en général, une résistance comprise entre 45 et 50 kilogrammes ; grâce à sa malléabilité, les traverses

peuvent supporter, sans se rompre, le choc des roues des véhicules en cas de déraillement, et l'écroutissage produit par l'action du poinçon au moment du perçage des trous n'offre pas d'inconvénient. Les traverses ne sont, en outre, pas exposées à se tremper pendant le laminage. L'Union des maîtres de forges allemands a néanmoins proposé de réduire à 40 kilogrammes le minimum de résistance.

Pour compléter les renseignements relatifs à cette question, on peut citer l'emploi, sur le réseau de l'État français, de traverses en acier dur, d'une résistance de 75 à 80 kilogrammes; ces traverses, posées depuis trois ans, se comportent parfaitement.

Paris, le 7 août 1889.

1^{RE} NOTE

Par A. HALLOPEAU

INGÉNIEUR MÉTALLURGISTE,
INSPECTEUR PRINCIPAL DU MATÉRIEL FIXE AUX CHEMINS DE FER DE PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES.

INTRODUCTION.

Abstraction faite des traverses métalliques dont la Compagnie de Lyon ne fait usage que sur une partie de son réseau algérien, les éléments de la voie en acier sont les suivants :

- 1° Le rail;
- 2° L'éclisse;
- 3° La selle d'appui;
- 4° La selle-arrêt;
- 5° Le tire-fond;
- 6° Le boulon d'éclisse.

Quelles sont, pour chacun des éléments, les conditions de résistance ?

Quelles sont, dans l'état actuel de la métallurgie française, les qualités les meilleures suivant l'emploi ?

Si l'on ne devait tenir compte que de l'usure, il semblerait, à priori, que la qualité devrait être la même pour chaque élément, le degré de dureté étant aussi élevé que possible; mais il faut se préoccuper également des autres conditions à remplir :

1° Les aciers doivent se prêter aux conditions de fabrication; elles sont différentes suivant l'emploi et la forme des pièces;

2° Les aciers de moindre résistance doivent être réservés de préférence pour la fabrication des organes les plus légers, selles et tire-fond, dont le remplacement après usure peut se faire plus facilement et avec moins de frais. Cette condition sera examinée de plus près, lors de l'étude des divers accessoires de la voie.

Il y a lieu de faire ressortir dès à présent l'importance des progrès réalisés dans la disposition et dans le mode de fabrication des matériaux de la voie depuis le courant de l'année 1881, c'est-à-dire depuis l'époque à laquelle le service du matériel fixe de la Compagnie de Lyon a été plus spécialement dirigé par M. l'ingénieur en chef Jules Michel. C'est à son initiative et à sa persévé-

rance que sont dues les améliorations successives qui ont assuré de plus en plus la stabilité, la rigidité et la solidité des voies.

Pénétré de cette idée que la voie est d'autant meilleure qu'elle est composée d'éléments plus lourds, plus stables, M. Jules Michel a poursuivi avec une grande autorité et aussi rapidement que l'a permis le développement des moyens de production dans les usines, l'augmentation du poids, de la longueur et de la section des rails, l'augmentation de la section et de la longueur des éclisses, l'augmentation de la section et de la longueur des selles.

C'est ainsi que la longueur des rails a été portée successivement de 8 à 10 et à 12 mètres, et que le poids par mètre courant a été porté de 39 à 47 kilogrammes.

La résistance des éléments accessoires a été augmentée également par la substitution des aciers et des fers fondus aux fers misés pour la fabrication des éclisses.

L'attache des rails sur les traverses a été consolidée, dès l'année 1886, par l'addition de trois à cinq selles-arrêt en acier par rail de 12 mètres.

L'emploi de ces selles empêche tout glissement du rail dans le sens longitudinal, et aussi tout écartement de la voie.

De l'année 1884 date l'emploi du fer fondu pour la fabrication des tire-fond; le métal de cette nature est incassable dans la limite des efforts que ces pièces ont à supporter dans la voie, et de plus la résistance à l'usure est de beaucoup supérieure à celle du fer misé.

Enfin, les boulons d'éclisses sont fabriqués exclusivement en fer fondu depuis le courant de l'année 1887.

En fait, dans le type de voie adopté exclusivement par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, tous les éléments sont en métal fondu, acier ou fer fondu, à l'exception de l'écrou du boulon d'éclisse qui doit rester en fer misé de qualité ordinaire.

La présente étude portera donc uniquement sur les matériaux de cette nature, l'emploi du fer étant abandonné.

Nous désignerons sous le nom d'acier le métal susceptible de devenir dur et fragile par la trempe : il est caractérisé par les coefficients de résistance ci-après désignés :

La limite de rupture est entre 45 et 85 kilogrammes par millimètre carré de section ; l'allongement atteint au plus 20 p. c. pour l'éprouvette de 100 millimètres.

Le fer fondu est le métal qui ne devient pas fragile par la trempe et qui résiste à la rupture à une limite variable entre 35 et 45 kilogrammes, tandis que l'allongement dépasse toujours 25 p. c. et peut atteindre jusqu'à 40 p. c.

CHAPITRE I^{er}.

Rails.

Les rails sont fabriqués exclusivement en acier, de la qualité dite dure, caractérisée ci-après par les coefficients de résistance pour la barrette de 100 millimètres :

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Limite élastique | 35 kilogrammes par millimètre carré. |
| Charge de rupture | 70 à 75 — — — — |
| Allongement pour cent | 12 à 15 p. c. |

Le tableau ci-après résume les essais (moyenne de 60 essais au moins) de flexion, de choc et de traction, faits pendant les dernières années, lors de la réception d'une fourniture de plus de 20,000 tonnes de rails du modèle PM de 38 kilogrammes le mètre.

Ce tableau fait ressortir les limites dans lesquelles ont varié les résultats pour chaque mois et pour chaque série d'épreuves :

RÉSUMÉ

des essais faits pendant une période de plusieurs années, sur des rails modèle PM,
en acier Bessemer et Martin, obtenus par les procédés dits acides.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|----------------------------------|-------|----------|---|-----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|--------|--|------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------|---|------------------------------|----------------------------------|
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Hauteur</td> <td style="width: 10%;">.</td> <td style="width: 10%;">0°130</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">Largeur.</td> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Patin 0°130</td> </tr> <tr> <td>Ame 0°014</td> </tr> <tr> <td>Champignon 0°060</td> </tr> <tr> <td>Poids du rail par mètre.</td> <td>.</td> <td>38°950</td> </tr> </table> | Hauteur | | 0°130 | Largeur. | { | Patin 0°130 | Ame 0°014 | Champignon 0°060 | Poids du rail par mètre. | | 38°950 | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Moment d'inertie</td> <td style="width: 10%;">.</td> <td style="width: 10%;">0,000.911.409</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Valeur de n en $\frac{cm^2}{m}$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>au patin 60.55</td> </tr> <tr> <td>au champignon. 69.45</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Valeur de $\frac{I}{n}$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>au patin 0,000.193</td> </tr> <tr> <td>au champignon. 0,000.164</td> </tr> </table> | Moment d'inertie | | 0,000.911.409 | Valeur de n en $\frac{cm^2}{m}$ | { | au patin 60.55 | au champignon. 69.45 | Valeur de $\frac{I}{n}$ | { | au patin 0,000.193 | au champignon. 0,000.164 |
| Hauteur | | 0°130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Largeur. | { | Patin 0°130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Ame 0°014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Champignon 0°060 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poids du rail par mètre. | | 38°950 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moment d'inertie | | 0,000.911.409 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valeur de n en $\frac{cm^2}{m}$ | { | au patin 60.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | au champignon. 69.45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valeur de $\frac{I}{n}$ | { | au patin 0,000.193 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | au champignon. 0,000.164 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PÉRIODES D'ESSAIS ET DE FABRICATION PAR TRIMESTRE. | LIMITES ENTRE LESQUELLES VARIANT LES RÉSULTATS D'ÉPREUVES. | ÉPREUVE CHIMIQUE PAR PROCÉDÉ EGGERTZ. | ESSAIS AU CHOC SUR CHUTES DE 0 ^m 700. — Distance des appuis : 0 ^m 500. Mouton de 300 kilog. | NOM DI RAILS 61 |
|--|--|---|---|-------------------------------|
| | | Teneur en carbone. | Flèches sous hauteur de chute de 3 ^m 00. | |
| | | Kilogrammes. | Millimètres. | |
| Décembre | Maximum. | 0.00542 | 9 | 6 |
| Janvier | Minimum. | 0.00350 | 3 | |
| Février | Moyenne. | 0.00440 | 6 | |
| Mars | Maximum. | 0.00690 | 8 | 61 |
| Avril | Minimum. | 0.00390 | 3 | |
| Mai | Moyenne. | 0.00531 | 4 | |
| Juin | Maximum. | 0.00650 | 9 | 71 |
| Juillet | Minimum. | 0.00400 | 3 | |
| Août | Moyenne. | 0.00544 | 5 | |
| Septembre | Maximum. | 0.00553 | 8 | 61 |
| Octobre | Minimum. | 0.00447 | 3 | |
| Novembre | Moyenne. | 0.00504 | 6 | |

Dans les essais de choc sur les chutes, rarement on a des ruptures; lorsqu'il s'en produit (au plus) quelles varient les flèches sont fort rarement atteintes; on obtient le plus généralement de 4 à 7 mil

Dans l'épreuve par flexion, il arrive fréquemment que le rail ne peut être cassé par suite du gauchissement. Si on la poursuivait, étant donnée la disposition de l'appareil, il ne serait plus possible de sortir prise par le rail est alors d'environ 125 millimètres; dans le cas, assez rare, de rupture sous c

Dans l'épreuve au choc sur barres de 3 mètres, pour laquelle on opère par coups donnés successivement laquelle on a cessé l'épreuve quand le rail résiste, ce qui a lieu le plus souvent; dans le cas moins de mouton précédant celui de la rupture.

| ESSAIS PAR FLEXION. | | | | | ESSAIS AU CHOC SUR BARRE DE 3 ^m 00. | | ESSAIS PAR TRACTION DIRECTE. | | |
|---|---------------|---------------------|---------------|--|---|--|--|-------------------------|--------------------------|
| Distance des points d'appui : 1 ^m 00.) Flèches sous charge de : | | | | Résistance avant rupture. (a) | (Distance des points d'appui : 1 ^m 00.) (Mouton de 300 kilog.) | | (Barrette tournée de 13 ^m 8 de diamètre et de 100 ^m de longueur utile.) | | |
| kilogrammes. | | 45,000 kilogrammes. | | | Flèche sous hauteur de chute de 2 ^m 30. (b) | Hauteur de chute avant rup- ture. | Limite d'élasticité. | Charge de rupture | Allongement p. o. |
| 1. | Persistantes. | Mobiles. | Persistantes. | | | | | | |
| | Millim. | Millim. | Millim. | Tonnes. | Millim. | Mètres. | Kilog. | Kilog. | |
| | 0.4 | 37.4 | 32.5 | 80.000 | 9.0 | 5.00 | " | " | " |
| | 0.0 | 4.9 | 0.9 | 48.000 | 3.0 | 3.50 | " | " | " |
| 5 | 0.2 | 15.8 | 11.7 | 58.571 | 5.32 | 4.88 | 35.150 | 72.4 | 13.01 |
| | 0.4 | 24.5 | 19.3 | 70.000 | 9.0 | 5.00 | " | " | " |
| | 0.0 | 5.2 | 0.9 | 52.000 | 3.0 | 4.00 | " | " | " |
| | 0.16 | 12.5 | 8.0 | 59.415 | 5.24 | 4.81 | 38.55 | 73.55 | 13.45 |
| | 0.4 | 20.8 | 15.6 | 72.000 | 10.0 | 5.00 | " | " | " |
| | 0.0 | 4.9 | 0.7 | 50.000 | 3.0 | 4.00 | " | " | " |
| | 0.16 | 10.2 | 5.9 | 61.120 | 5.48 | 4.94 | 39.12 | 73.80 | 13.46 |
| | 0.4 | 30.1 | 25.3 | 71.000 | 8.0 | 5.00 | " | " | " |
| | 0.0 | 4.8 | 0.9 | 48.000 | 3.0 | 4.00 | " | " | " |
| 5 | 0.16 | 13.3 | 9.0 | 63.460 | 5.04 | 4.93 | 36.7 | 75.76 | 14.13 |

nnent le plus souvent à la présence de criques au patin. Les limites de 9 et 3 millimètres entre les-

sous l'effort. La barre prend une flèche assez considérable pour qu'il soit nécessaire d'arrêter l'opéra-
; dans ce cas, la charge portée dans la colonne (a) indique celle obtenue au moment de l'arrêt, la flèche
1 indiquée dans cette colonne (a) de résistance est celle de la rupture diminuée de 2 tonnes.

2^m50, 3 mètres, 4^m50 et 5 mètres, la hauteur de résistance portée dans la colonne (b) est celle à
il casse à un coup donné à 5 mètres ou au-dessous, la hauteur de résistance indiquée est celle du coup

Conditions de résistance du rail. — Pour le rail en acier modèle PM, de 38,950 le mètre courant, le plus généralement employé, la section du rail a été calculée de telle sorte, qu'après une usure de 12 millimètres au champignon et de 2 millimètres au patin, le métal travaille au plus à 8 kilogrammes par mètre carré (1).

Résistance du métal employé dans la fabrication du rail. — Suivant la formule généralement admise, le métal ne doit en aucun cas être soumis à un effort supérieur au tiers de la charge limite d'élasticité ; on devrait choisir un acier caractérisé par les coefficients suivants :

Limite élastique. 25 kilogrammes par millimètre carré de section.
Charge de rupture 50 — — —

Un tel acier est classé par les usines dans la catégorie des aciers demi-doux.

En pratique, l'emploi de cet acier donnerait de mauvais résultats, l'usure en serait rapide ; le choix doit porter, de préférence, sur un métal plus dur, plus résistant, tout en conservant assez de malléabilité pour résister aux chocs produits en service, quel que soit l'abaissement de température.

II. — FABRICATION.

La qualité du métal pour rail, tel qu'elle est caractérisée par les degrés de malléabilité, dureté, etc., nécessaires, dépend :

De la nature du minéral.

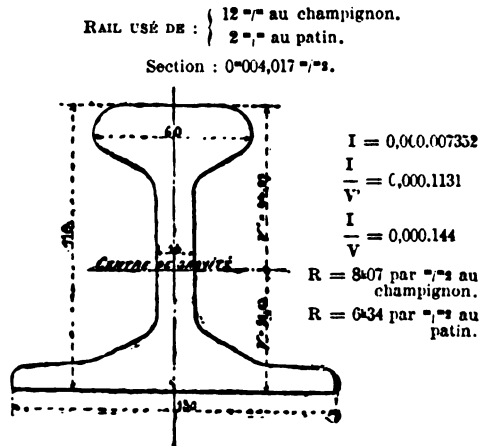
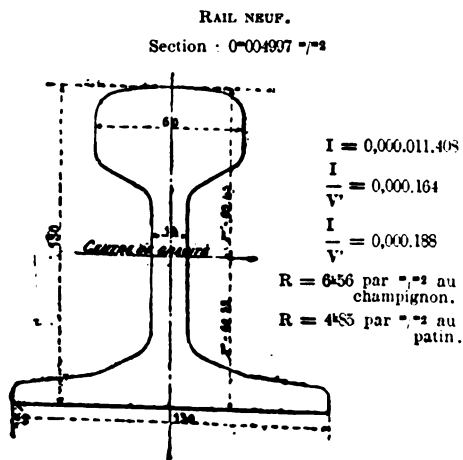
Du mode de fabrication.

De la composition chimique de l'acier (teneur en carbone, manganèse, etc.).

De la texture du lingot ; de ses dimensions.

(1) EFFORT EXERCÉ SUR LES RAILS EN SERVICE.

Dans les calculs on a supposé que l'écartement des traverses est égal à 1^m000, c'est-à-dire le même écartement que celui adopté pour les essais par flexion à l'usine, et que la charge maxima d'un essieu étant de 14,600 kilogrammes, celle appliquée au milieu de la portée est égale à 7,300 kilogrammes.



Procédés de fusion. Choix du minerai. — A l'origine, il a été fait beaucoup d'aciers Bessemer et d'aciers fondus sur sole, par les procédés dits acides, c'est-à-dire dans des appareils revêtus intérieurement d'une garniture réfractaire en argile (silicate d'alumine).

Depuis 1880, on produit des aciers déphosphorés par les procédés dits basiques, c'est-à-dire dans des appareils revêtus intérieurement d'une chemise réfractaire en dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie).

Le procédé Bessemer acide exige l'emploi de minerais de choix, purs et manganésifères, de nature aciéreuse. Les rails obtenus avec ces minerais sont d'excellente qualité, durs, très raides, de grande résistance à la flexion et au choc. En service ils ont donné de très bons résultats. A part un petit nombre de barres qui ont présenté une soufflure par suite du vide déterminé par le retrait à la partie supérieure du lingot, lors de la solidification du métal, la proportion des rebuts, en fin de garantie après trois ans de service, a été très faible.

La fabrication Bessemer, quand elle est bien conduite, permet de repasser dans la cornue, à une température suffisante, une certaine proportion de bouts de rails en acier provenant des déchets du laminage ou de barres rebutées ; mais cette addition ne peut se faire qu'au détriment de la parfaite qualité du produit. En aucun cas, dans l'opération Bessemer, il n'est possible de faire emploi de vieux rails en fer qui renferment toujours une notable proportion de phosphore ou de soufre, matières nuisibles pour la résistance du métal.

Avec le four à sole dit four Martin-Siemens, lorsque l'opération est faite sur sole argileuse et à une température suffisante, il est possible, au contraire, de faire passer dans le bain une assez notable proportion de vieux rails en fer, même s'ils renferment une certaine quantité de phosphore. Ce mode de fabrication a donné d'excellents rails dans un certain nombre d'usines.

Mais parfois cette addition de matières a entraîné la production de rails d'acier dont la qualité donnait à peine satisfaction aux diverses conditions du cahier des charges ; après la mise en service, pendant le cours du délai de garantie, on a constaté une réelle infériorité pour ces rails. Ils ont présenté un assez grand nombre de soufflures réparties sur tous les points, et surtout au champignon.

Quant à la fabrication Bessemer basique (procédé Thomas), elle produit des aciers à faible teneur en carbone, au moyen de fontes phosphoreuses à bas prix ; les rails obtenus ont été, dans certains cas, de qualité relativement inférieure.

Les fours Martin avec garniture dolomitique n'ont pas été employés à la fabrication des rails ; les produits de cette nature sont trop doux, trop malléables et ne conviennent pas pour l'emploi.

En résumé, le métal de la qualité la plus convenable pour la fabrication du rail, paraît être celui obtenu avec des fontes pures de bonne qualité, sans soufre ni phosphore, soit au Martin avec garniture acide, soit au Bessemer, à la condition, dans ce dernier cas, qu'il ne soit pas ajouté de vieux rails en fer dans le bain. Ces résultats ressortent du tableau résumé des procès-verbaux d'épreuves faites pendant plusieurs années.

Fusion des lingots. Texture. — L'allure plus ou moins chaude, c'est-à-dire à un degré de température plus ou moins élevé, du métal liquide, qu'il s'agisse d'opérations au convertisseur Bessemer ou au four Martin-Siemens, par le procédé acide ou par le procédé basique, produit des lingots plus ou moins soufflés.

Il a été constaté que dans une opération chaude, on obtenait des lingots à peu près sains dans toute la section et ne présentant que des piqûres, c'est-à-dire de petites soufflures sur la surface extérieure ; au contraire, dans le cas d'une coulée froide, il existe des soufflures assez fortes et nombreuses dans la masse. On doit donc éviter, du moins dans l'opération Bessemer, pour ne

pas refroidir le bain, de faire aucune addition de fragments de rails en fer provenant de barres rebutées ou de bouts écrus, même après les avoir chauffés le plus possible, surtout vers la fin de l'opération (1).

Il ne peut être ajouté ainsi que des bouts de rails d'acier, et encore en minime proportion.

Le métal dur donne des lingots plus sains que le métal doux, le métal dur étant plus fusible que le métal doux et par suite plus fluide à haute température.

Les défauts qui se présentent dans la masse du lingot peuvent être atténués par le laminage, mais cette opération ne peut faire disparaître les soufflures surtout dans les aciers durs, autrement dit assurer, dans ce cas, la parfaite soudure de toutes les molécules du métal.

Indépendamment des soufflures ou piqûres, il existe toujours à la partie supérieure du lingot, comme il est dit plus haut, une zone soufflée ou spongieuse, dont l'étendue s'accroît au laminage en proportion de la diminution de la section. De plus on constate, à la partie supérieure et au centre du lingot, une dépression, un vide central provenant du retrait du métal causé par le refroidissement dans la lingotière vide, auquel on donne ordinairement, dans les usines, le nom de soufflure « en tige de botte ».

C'est pour faire disparaître ces défauts, qui altèrent la résistance de la barre dans l'extrémité qui correspond à la partie supérieure du lingot, que l'on doit couper le rail sur une longueur plus ou moins considérable, au sortir du laminoir.

Laminage. Section des lingots. — Le laminage atténue en partie les défauts de soudure qui peuvent être disséminés dans la masse du lingot; il resserre le tissu du métal, il lui donne du corps, bien qu'avec un métal aussi dur que celui pour rail, il ne se produise le plus souvent aucune soudure entre les parois des soufflures ainsi rapprochées. L'action du laminage doit dans tous les cas être aussi énergique que possible.

Le but sera d'autant mieux atteint que la section du lingot sera plus grande par rapport à celle de la barre laminée sous la forme de rail.

Les dimensions transversales du lingot sont cependant limitées :

1° Par la puissance des laminoirs; les dimensions de leurs cages et la distance entre les axes des cylindres;

2° Par le poids des lingots; car plus la base sera large, plus la partie écrue de la base supérieure sera grande par rapport à la partie saine.

Avec le profil du rail de trente-neuf kilogrammes (39 kilog.), pour rester dans de bonnes conditions de corroyage, on doit exiger, pour le lingot, une section minima de 108.900 millimètres carrés, ce qui correspond à une section carrée de 330 × 330.

L'étrépage est alors représenté par le rapport de :

$$\frac{\text{Section du lingot}}{\text{Section du rail}} = \frac{108900}{4997} = \frac{22}{1} \text{ environ.}$$

Dans ces conditions, la longueur de la partie écrue du lingot, qui est d'environ 40 à 45 millimètres d'épaisseur, correspond à une longueur de barre profilée de 850 à 950 millimètres.

D'autre part, l'extrémité inférieure du lingot, quoique saine, se trouve altérée au laminage; le tissu extérieur s'allonge plus que le tissu central et forme une sorte de culot creux dont la longueur varie de 200 à 250 millimètres; par suite, en coupant cette extrémité de la barre sur une longueur de 300 millimètres, on enlève à coup sûr la partie altérée.

(1) On appelle bouts écrus les parties extrêmes de la barre brute, telle qu'elle sort du laminoir. Ces extrémités sont affranchies à chaud, à la scie circulaire, après la dernière passe entre les cylindres.

Poids des lingots. — On détermine le poids du lingot de manière à obtenir un excédent représentant la longueur des deux bouts érus : 900 millimètres pour la partie supérieure du lingot; 300 millimètres pour la partie inférieure; soit un total de 1^m20 de longueur de barre laminée.

Les usines ont bientôt reconnu, à la suite du règlement de la garantie des premiers marchés, l'inconvénient de ne pas recouper les bouts érus sur une longueur suffisante, et le nombre de barres rebutées en service pour défauts dans les bouts a subi une diminution sensible lors des règlements ultérieurs.

Lingotières. — Les lingots prismatiques obtenus dans des lingotières en deux pièces assemblées produisent une couture au joint; non seulement cela amenait souvent au laminage des repliures de la bavure, mais on a reconnu, de plus, que par cette disposition le retrait du métal qui est d'environ 1.8 p. c., ne se produit pas régulièrement. Il en résulte des déchirures dites retirures à la surface des lingots alors qu'ils sont encore chauds.

De ce fait, on emploie exclusivement des lingotières d'une seule pièce et d'une conicité suffisante pour assurer la facilité du démoulage du lingot.

Certaines usines font usage de lingotières fermées à la partie inférieure, dites lingotières borgnes, qui présentent sur celles percées de part en part, l'avantage d'éviter les bavures à la partie inférieure; le lingot est plus propre et ne présente pas les petites retirures que déterminent les bavures.

De plus, avec la conicité de bas en haut, c'est le métal de la partie supérieure qui est le plus serré lors de l'opération du laminage, puisque la plus forte section se trouve vers le haut du lingot.

Le modèle de lingotière borgne est maintenant adopté de préférence dans la majeure partie des usines.

Rechauffage des lingots. — Les lingots sont amenés de l'aciérie au laminage, complètement froids, ou refroidis à la superficie seulement.

Dans ce dernier cas, la masse intérieure étant encore à une certaine température, il suffit d'un léger rechauffage du lingot, pour obtenir le degré de chaleur convenable au laminage.

Si le lingot est totalement refroidi, il est nécessaire de prendre certaines précautions lors du rechauffage; il faut éviter de le chauffer trop brusquement, sinon il se produit le défaut connu sous le nom de tapures ou de fissures. Le four de rechauffage doit être conduit très lentement, au début surtout.

Les fissures se produisent lors du rechauffage, surtout dans les lingots obtenus au four Martin avec addition de vieux rails en fer en proportion notable.

Après avoir introduit les lingots froids dans un four trop chaud, on entend fréquemment des détonations, signe certain d'une dilatation brusque des lingots à la périphérie, alors que la masse intérieure est déjà froide.

Aussi, depuis plusieurs années déjà, est-il fait usage de fours avec chauffage méthodique de très grandes dimensions. Ces lingots sont d'abord placés à l'extrémité opposée du foyer, c'est-à-dire dans la partie du four la moins chauffée, puis on les rapproche successivement vers l'autel dans la partie la plus chauffée en les renversant de manière à leur faire exécuter un quart de tour.

On les chauffe au blanc orange clair, presque au blanc soudant, et on les passe ensuite au laminoir dégrossisseur.

La barre ainsi préparée est ensuite rechauffée de nouveau au blanc orange, puis laminée à sa dimension définitive.

Le laminoir finisseur est, le plus souvent, dans les usines anciennes du moins, du type dit « laminoir trio ». Dans les usines nouvelles, il est fait usage d'un laminoir du *système réversible* qui permet de laminier des barres de 24 et de 36 mètres de longueur utile.

Les deux systèmes donnent l'un et l'autre des rails dont le profil est rigoureusement exact dans les limites de tolérance fixées par les marchés. Il semble que les rails obtenus à 36 mètres de longueur au train réversible sont plus sains, comme ayant subi plus de corroyage, la section primitive du lingot étant plus forte de beaucoup dans ce dernier cas.

Dressage et dégauchissage. — Le dégauchissage et le dressage à chaud des barres, à la sortie du laminoir, doivent être faits avec le plus grand soin, afin d'éviter, autant que possible, un redressage trop énergique. Cette opération se fait au moyen d'une presse à froid.

De même, le dégauchissage à froid est obtenu par une opération analogue; on emploie à cet effet des leviers ayant une douille évidée à la section du rail et agissant à chaque extrémité de la barre, qui a été fixée vers le milieu dans une presse à excentrique.

Ces opérations de dégauchissage et de dressage à froid sont dangereuses pour l'équilibre moléculaire de la barre, d'autant plus que le métal est plus dur et que les flèches ou le gauche à corriger sont accentués; il peut se produire alors dans le métal des fissures très fines qu'il est impossible de constater à l'œil et qui cependant suffisent pour déterminer la rupture du rail après la pose.

Composition chimique. Teneurs en carbone, manganèse, etc. — La proportion de carbone, agent principal de la trempe, permet d'apprécier le degré de dureté du métal; il est d'autant plus dur que la proportion de carbone est élevée.

Il est nécessaire que ce corps additionnel soit en quantité suffisante, mais la dureté du métal ne doit pas être produite exclusivement par la teneur en carbone, l'acier serait trop sec, trop vif.

Il doit exister, en outre, dans la composition de l'acier, du manganèse en légère proportion, afin d'augmenter la malléabilité du métal.

Les teneurs en silicium, soufre et phosphore sont faibles; ces matières, dans des proportions réduites, ne peuvent avoir aucune influence sur la dureté.

III. — ÉPREUVES.

Lors de la réception à l'usine, la qualité du rail est constatée :

Par une épreuve de trempe;

Par une épreuve chimique;

Par une épreuve au choc sur un bout de rail de 70 centimètres de longueur, de chaque coulée;

Par une épreuve à la flexion sur trois rails par lot de 800 barres;

Par une épreuve au choc sur un tronçon de 3 mètres pris dans chaque rail essayé à la flexion;

Enfin, par une épreuve de traction.

Trempe. — On constate, par un essai de trempe, sur un lingot de faible section martelé ou étiré en petit échantillon, que le métal contient au moins la proportion de carbone nécessaire. Avec quelque habitude, on peut même déterminer, par l'examen des cassures, le degré relatif de dureté. Plus le grain est fin après la trempe, plus le métal est dur.

Épreuve chimique. — L'épreuve chimique, par le procédé Eggertz, permet de constater la teneur en carbone du métal. Ce procédé colorimétrique a été inauguré à la Compagnie de Lyon en 1882, à l'époque où les usines fabriquant le rail ont mis en pratique le procédé de déphosphoration des minerais communs. On reconnaît, par un examen rapide, si le degré de carburation

au-dessous duquel on a jugé nécessaire de ne pas descendre, est atteint, soit au minimum de 3 1/2 grammes (0.0035) par kilogramme de métal fondu. L'examen du tableau offre des variantes de 0.0035 à 0.0069 pour la teneur en carbone; dans ces limites, on obtient un métal prenant la trempe; pour obtenir des outils tranchants attaquant des fontes blanches, il faut que la teneur en carbone soit de 0.0045 au minimum.

Épreuve au choc sur des bouts de barre de 700 millimètres. — Le degré de dureté est également établi par les résultats obtenus dans les essais au choc, sous l'action d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 3 mètres de hauteur sur des bouts de rail de 70 centimètres de longueur détachés à l'extrémité de la barre qui correspond à la partie supérieure du lingot, c'est-à-dire dans la partie la moins saine de ce lingot.

En général, à moins d'un défaut dans le rail, la barre résiste à cette épreuve par choc, et la flèche varie le plus souvent entre 4 et 7 millimètres; rarement elle atteint les limites 3 et 9 millimètres, portées au tableau ci-dessus; les points d'appui sont dans ce cas espacés de 500 millimètres.

Épreuve par flexion. — D'après les conditions d'épreuves pour la réception des rails à l'usine, inscrites dans les marchés, le rail neuf de 6 mètres de longueur doit résister, sans déformation, lors de l'épreuve par flexion, à un effort minimum de 30 tonnes exercé au milieu de l'intervalle des deux points d'appui espacés de 1 mètre.

La charge de 30,000 kilogrammes pour le rail neuf correspond, pour le rail usé de 12 millimètres au champignon et de 2 millimètres au patin, à un effort de 20,675 kilogrammes, ce qui représente encore un travail 2.6 plus grand que celui produit en service.

Les rails qui, lors de la fabrication, répondent aux essais par flexion sous charge de 30 tonnes, sont donc, lorsqu'ils arrivent à la limite extrême d'usure, encore deux fois et demie plus résistants qu'il n'est rigoureusement nécessaire. Le métal caractérisé par cette limite inférieure de la résistance répond aux conditions normales de vitesse et de charge du trafic.

Le métal présente, en même temps, beaucoup de ténacité, car en poussant l'épreuve par flexion jusqu'à rupture, le rail résiste au moins à 48 tonnes et plus généralement jusqu'à 70 tonnes, par exception même jusqu'à 80 tonnes.

Les flèches persistantes avant la rupture, à la limite de 45 tonnes, varient entre 1 et 30 millimètres, ce qui dénote encore combien le métal est dur et élastique.

En résumé, les résultats très favorables qui ont justifié l'emploi de l'acier de préférence à celui du fer, alors même que le prix en est de beaucoup plus élevé, ne peuvent être obtenus qu'avec les aciers Bessemer ou Martin de fabrication soignée, à l'exclusion des aciers fabriqués avec addition de vieux rails en fer et des aciers dephosphorés.

Épreuve au choc sur barres de 3 mètres. — Dans l'essai dynamique par le choc, la dureté du métal est également mise en évidence par le peu de flèche que prend la barre sous le choc du mouton.

L'essai a été fait avec un mouton du poids de 300 kilogrammes; la hauteur de chute minima étant de 2^m30 et les points d'appui écartés de 1^m10.

En fait, le rail ne casse jamais sous une hauteur inférieure à 3 mètres; le plus souvent il résiste jusqu'à ce que le mouton tombe d'une hauteur de 5 mètres, et même il ne casse parfois qu'après sept coups de mouton. La hauteur de chute augmente de 50 centimètres à chaque coup, puis après le cinquième coup, il est encore donné deux derniers coups à la hauteur de 5 mètres.

Épreuve par traction directe. — Le degré de dureté est indiqué, dans les essais par traction directe, sur des barrettes cylindriques de 13^{mm}8 de diamètre et de 100 millimètres de longueur utile; on mesure la charge à la limite d'élasticité, la charge de rupture et l'allongement après rupture.

On apprécie le degré de malléabilité à froid d'après l'allongement constaté au moment de la rupture de la barrette.

L'examen du tableau montre que le métal à rail donnant les résultats satisfaisants de dureté, malléabilité, ténacité, obtenus en fabrication courante, aux épreuves chimiques, par flexion et par choc, est celui qui, dans les essais par traction directe, est caractérisé comme suit :

| | |
|----------------------------|--|
| Limite élastique. | 35 à 40 kilogrammes par millimètre carré de section. |
| Charge de rupture. | 70 à 75 — — — |
| Allongement | 12 à 15 p. c. |

IV. — RÉSUMÉ

En résumé, la qualité la meilleure de métal pour la fabrication des rails, paraît être celle qui correspond aux conditions de réception ci-après; elles permettent de constater la dureté, la ténacité, la malléabilité et l'élasticité.

Essai de trempe. — Une éprouvette méplate de 30 × 20, étirée dans un petit lingot obtenu en même temps que la coulée des lingots à rails, doit prendre, par la trempe à l'eau, une dureté assez grande pour fournir un outil tranchant capable d'attaquer les métaux fer et acier, à l'exclusion des fontes blanches.

Épreuve chimique. — Le métal doit contenir au moins 3 grammes (0.003) de carbone par kilogramme d'acier, afin que l'effet de la trempe soit assez énergique pour obtenir le degré de dureté demandé ci-dessus. Bien que dans les marchés de rails en métal déphosphoré, il ne soit exigé qu'une teneur en carbone minima de 3 grammes (0.003) par kilogramme, les usines ont le plus souvent fourni un métal renfermant 3 1/2 grammes (0.0035) de carbone par kilogramme.

Des résultats donnés par des essais répétés dans les usines, on peut conclure que les teneurs en carbone et manganèse les plus convenables pour le métal à rail sont dans le rapport de :

| | |
|-------------|-----------------|
| C | 0.4 à 0.5 p. c. |
| Mn. | 0.8 à 1.0 p. c. |

soit pour le manganèse, environ une quantité double de celle du carbone.

Épreuve au choc sur chute de 700 millimètres. — Un tronçon de rail de 700 millimètres détaché à l'extrémité de la barre laminée qui correspond à la partie supérieure, c'est-à-dire la moins saine du lingot, doit être assez malléable à froid pour résister, sans rupture, au choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 3 mètres de hauteur, au milieu de l'intervalle de ses points d'appui espacés de 500 millimètres.

Épreuve par flexion. — Le métal doit être suffisamment élastique pour qu'un rail de 3 mètres, dans l'essai par flexion, ne conserve pas de flèche persistante sous une pression de 30 tonnes exercée au milieu de l'intervalle des points d'appui espacés de 1 mètre; et que, de plus, sous une pression de 45 tonnes exercée dans les mêmes conditions, la flèche conservée par le rail n'excède pas 30 millimètres, sans gauchissement de la barre.

Épreuve au choc sur barre de 3 mètres. — Le métal doit être suffisamment malléable pour que le rail de 3 mètres subisse, sans rupture, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 2-30 de hauteur au milieu de l'intervalle des points d'appui espacés de 1-10; et assez dur et élastique pour que la flèche soit inférieure à 10 millimètres.

Épreuve par traction directe. — Les degrés de dureté, ténacité, malléabilité, élasticité du métal à rail, étant caractérisés par les essais précédents, les épreuves par traction directe n'ont pour but que de confirmer les résultats déjà obtenus; ces épreuves complémentaires ne sont faites qu'à titre de renseignement.

D'autre part, le métal de bonne qualité paraît être celui obtenu dans les conditions de fabrication ci-après :

Emploi de fontes pures, de bonne qualité, grises, siliceuses, sans soufre ni phosphore;

Traitement de ces fontes au four Martin ou au convertisseur Bessemer avec revêtement acide; les opérations de fusion doivent être faites à la température la plus élevée, pour que les lingots soient sains;

Emploi d'une lingotière d'une seule pièce et de préférence celle dite « borgne » ;

Emploi de lingots donnant des bouts écrus de grande longueur, dans tous les cas, que le rail soit laminé en simple, en double ou en triple longueur;

La section transversale ne doit pas être inférieure à $330 \times 330 = 10.8900$ millimètres carrés, pour le laminage du rail de 45-300 le mètre, à la longueur de 12 mètres;

Le laminage en double et en triple longueur qui ne peut se faire qu'au train réversible, permet l'emploi de lingots de plus forte section, ce qui est une condition favorable pour la bonne qualité du rail ;

Conduire le rechauffage progressivement, surtout s'il est fait sur des lingots refroidis au préalable;

Assurer le dégauchissage et le dressage à chaud, sur la plaque, à la sortie du laminoir, d'une façon aussi rigoureuse que possible, afin d'empêcher la production de fissures ou de tensions intérieures lors du redressage à froid, surtout si le métal est dur;

Enfin, pour éviter l'action de la trempe et la production de tensions intérieures, rendre le refroidissement du rail aussi lent que possible, en serrant les barres chaudes les unes contre les autres sous la halle de laminage et à l'abri de tout courant d'air trop vif.

V. — CONCLUSIONS.

Les résultats obtenus en service, depuis plus de vingt-cinq années, ont démontré que le rail, principal élément de la voie, dont le remplacement sur une ligne en exploitation est onéreux, doit présenter, par sa dureté, la plus grande résistance à l'usure, sans toutefois que cette dureté entraîne la fragilité.

Ces conditions peuvent être obtenues, en fabrication courante, en s'entourant de toutes précautions dans le travail, et aussi dans le choix des matières. Il faut n'employer que des matières de bonne qualité et les traiter au four Siemens-Martin ou au convertisseur Bessemer acide, à l'exclusion du procédé Thomas dit « de déphosphoration », produit trop doux, renfermant de fortes soufflures, qui donne une usure plus rapide que l'acier acide.

Les rails fabriqués sur sole acide ont donné d'excellents résultats.

Sur 830,000 tonnes de rails en acier de divers modèles, fabriqués dans une période de vingt années, de 1867 à 1888, il en a été vérifié environ 700,000 tonnes en fin de garantie. La pro-

portion des rebuts a été établie d'après les relevés fournis par un grand nombre de sections choisies dans tous les points du réseau : elle ressort à 0.814 p. c., suivant la répartition indiquée dans le tableau ci-après :

| | TONNAGE LIVRÉ DE 1867 à 1888. | ÉPOQUES DES LIVRAISONS. | Nombre des rails avariés, en fin de garantie, sur 100,000 rails posés en section d'épreuve. |
|-------------|-------------------------------------|----------------------------|---|
| | Tonnes. | | |
| A | 148,000 | de 1871 à 1886 | 412 |
| B | 257,000 | de 1867 à 1888 | 875 |
| D | 114,600 | de 1873 à 1885 | 935 |
| E | 83,000 | de 1877 à 1888 | 1,004 |
| F | 8,000 | de 1868 à 1883 | 1,478 |
| G | 3,000 | de 1882 à 1884 | 1,208 |
| H | 59,500 | de 1871 à 1883 | 1,260 |
| I | 16,000 | de 1871 à 1876 | 703 |
| J | 4,500 | de 1872 à 1875 | 845 |
| | 693,600 | | |

En établissant la proportion géométrique, la moyenne ressort à 0.814 p. c.

Cette proportion comprend la totalité des rails rebutés à quelque titre que ce soit, y compris ceux qui ont été conservés dans les voies comme ne présentant que des avaries de faible importance, fentes légères, fissures ou criques peu profondes.

La proportion des rails entièrement retirés des voies pendant le délai de garantie ressort seulement à 0.217 p. c.

Voici, d'autre part, les résultats relevés sur une section d'essai posée entre Terrenoire et Saint-Chamond en rails déphosphorés :

Cinquante rails en acier déphosphoré ont été retirés après six ans et trois mois de service, leur usure moyenne était de 14^{mm}6 sur le champignon.

Les rails acides placés avant les rails déphosphorés, au même endroit, étaient restés neuf ans et demi en service, l'usure avait été de 12 millimètres en moyenne.

VI. — RAILS PM-G ET LP.

En dehors du type de rail courant de 39 kilogrammes le mètre, modèle PM, la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, a adopté deux autres types de rails, les modèles PM-G et LP renforcés au patin et au champignon, pour augmenter la durée dans les parties de voies où le trafic est le plus considérable.

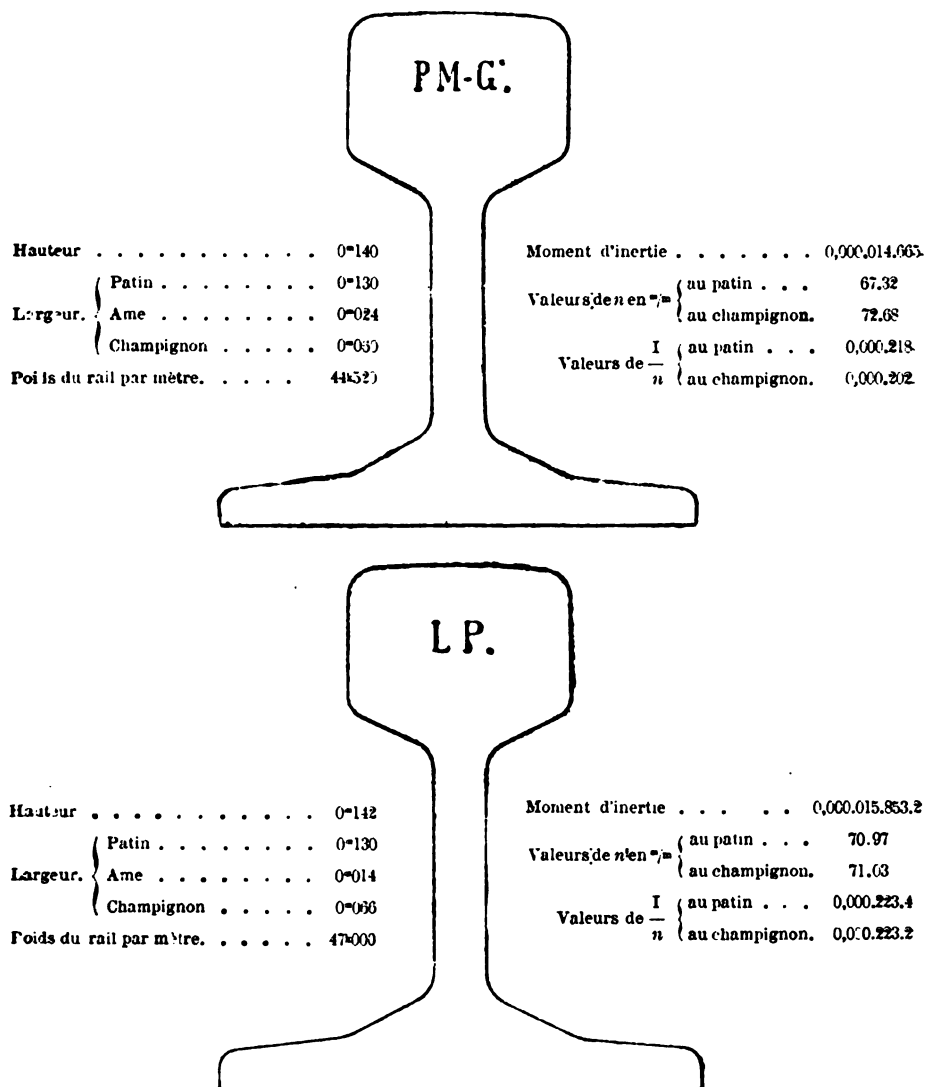
Le rail modèle PM-G, de 43^k500 le mètre, ne diffère du rail PM que par une surélévation de 10 millimètres du champignon.

Le rail modèle LP, de 43^k300 le mètre, diffère du rail PM par une surélévation de 11 millimètres au champignon, une augmentation de 1 millimètre sur l'épaisseur du patin et un excédent de 6 millimètres sur la largeur du champignon.

La surépaisseur au patin est destinée à compenser l'usure produite au contact de la selle ou de la traverse, usure qui est surtout sensible dans certains tunnels où se condensent des vapeurs sulfureuses.

Pour ces deux modèles de rails, la qualité du métal est la même que pour le rail PM; les conditions de fabrication et de matières sont identiques. Les charges pour l'épreuve par flexion et pour celle par le choc, sont augmentées suivant le rapport des sections.

Les profils de ces deux types de rails sont représentés ci-après.



CHAPITRE II.

Éclisses-cornières, modèle PM, en acier.

I. — INTRODUCTION.

Détermination des dimensions de l'éclisse-cornière, modèle PM. — Il est généralement admis que les joints des rails forment un point faible dans la voie, quel que soit le système d'éclissage. Aussi cette partie du matériel est-elle aujourd'hui encore l'objet de nouveaux perfectionnements.

Dès 1878, l'acier a été employé pour la fabrication des éclisses, à l'exclusion du fer, le prix de l'acier ayant présenté à cette époque une baisse assez sensible (1).

Depuis, la forme et les dimensions ont été modifiées dans le but de donner au joint la plus grande rigidité, et le prix de l'acier ayant subi une nouvelle et importante réduction, la Compagnie de Lyon adopta, en 1883, sur la proposition de M. l'ingénieur en chef Jules Michel, l'emploi d'une éclisse-cornière dont la branche verticale a une épaisseur de 20 millimètres.

L'éclisse-cornière a une longueur totale de 700 millimètres; sa disposition lui permet :

- 1° De relever les extrémités libres des deux rails consécutifs;
- 2° De s'appuyer légèrement à chaque bout sur les traverses de contre-joint, lors du passage des trains, le jeu entre les éclisses et les selles d'appui étant très limité.

Étant reliée à chaque traverse par deux tire-fond, l'éclisse maintient le rail contre le glissement longitudinal de la voie provoqué par la poussée des trains, poussée d'autant plus grande que la déclivité est plus prononcée, que le trafic est plus considérable, que les charges des trains sont plus élevées.

Par sa forme, l'éclisse-cornière s'oppose en outre au déversement du rail à ses extrémités, sous la poussée latérale.

Conditions de résistance des éclisses. — Sous le passage des roues (chaque roue pouvant recevoir une charge variable jusqu'à 7,300 kilogrammes), il y a battement des faces d'éclissage du rail contre celles de l'éclisse, dans le sens vertical et dans le sens transversal; le métal employé doit être pour ce motif dur et résistant, afin que l'usure soit aussi faible que possible. Il doit être malléable et élastique, pour résister sans se rompre aux chocs produits par le passage des véhicules sur le joint.

L'éclisse-cornière PM dont la section est de 2.652 millimètres carrés, a été établie de telle sorte que sous la charge verticale maxima de 7,300 kilogrammes, le métal travaille au plus 8*58 par millimètre carré pour une portée de 600 millimètres entre les appuis.

L'acier de la catégorie dite demi-dure est caractérisé par les coefficients suivants.

Ce métal est susceptible de devenir assez dur par la trempe :

| | |
|---------------------------------|----------------|
| Limite d'élasticité. | 25 kilogrammes |
| Charge de rupture | 50 — |
| Allongement pour cent | 15 à 25 — |

Cet acier remplit les conditions les meilleures pour la fabrication des éclisses-cornières.

Ce degré de dureté ne doit pas être dépassé et cela pour deux motifs :

(1) Voir dans la *Revue générale des chemins de fer*, numéro de janvier 1882, page 36, une note de M. Hallopeau intitulée : « Etudes sur la résistance des divers types d'éclisses en fer et en acier ».

D'une part, il faut faire en sorte que dans les portées en contact les éclisses s'usent plus vite que les rails, le remplacement en service étant plus facile et moins onéreux;

D'autre part, pour le finissage des éclisses, il faut que le métal possède un certain degré de douceur.

En outre du choix du métal, le procédé de fabrication a une influence considérable sur la qualité des produits livrés sous forme d'éclisses.

II. — PROCÉDÉS DE FABRICATION.

Fusion. — On choisit de préférence l'acier obtenu au four Martin-Siemens sur sole basique, demi-dur, résistant, élastique, assez tenace pour durcir par la trempe sans devenir fragile, assez malléable pour supporter, sans écrouissage, le travail de perçage, de dressage et de dégau-chissage.

Coulée. — Les lingots sont coulés dans des lingotières coniques dites borgnes, c'est-à-dire fermées à l'une des extrémités.

Dimensions. Poids des lingots. — La section transversale des lingots doit être telle que, par le corroyage et l'étirage de la matière, après le laminage, on ait fait disparaître les soufflures et autres défauts.

Les lingots ont une section transversale d'environ 203×190 ou 3.9000 millimètres carrés; comme la section de l'éclisse est de 2.653 millimètres carrés, le corroyage est exprimé par le rapport

$$\frac{3900}{2653} = 15$$

Les bouts écus, surtout celui correspondant au haut du lingot, sont affranchis sur une petite longueur pour faire disparaître les parties moins denses.

Le poids du lingot varie généralement de 200 à 220 kilogrammes.

Laminage. Dressage des barres. — Le lingot fournit des barres, laminées sous forme d'éclisses, d'une longueur utile de 10 mètres environ, en tenant compte du déchet au laminage et de l'affranchissement des bouts écus.

Les barres sont coupées à chaud, à la scie, en deux ou trois longueurs, à la sortie du laminoir; elles sont ensuite dressées à chaud, sur une plaque, au moyen de forts maillets en bois.

Le refroidissement s'opère lentement sous la halle de laminage, les barres étant serrées les unes contre les autres et empilées en tas pour obtenir une sorte de recuit et pour éviter l'effet de trempe sous l'action des courants d'air.

Coupage des barres. — En fait, l'éclisse étant d'une épaisseur réduite, le refroidissement est assez rapide, et il n'est plus possible de couper à chaud, à la scie, en petit tronçons de la longueur de 700 millimètres. Le sciage à chaud présenterait l'inconvénient de produire dans les longueurs des variations qui dépasseraient les limites admises. Cela entraînerait d'importantes retouches à froid, soit à l'aide de fraises, soit à la cisaille.

En pratique, on attend que les barres soient refroidies complètement, on les cisaille à froid; par précaution, on emploie des lames qui épousent la forme de l'éclisse; de plus, on donne un second coup de cisaille pour abattre la dépression exercée par une première coupe, sur une faible longueur.

Perçage des trous. — Le perçage des trous, surtout les trous d'éclissage, exige un grand degré d'exactitude; il faut éviter toute déformation dans les portées des faces d'éclissage et toute bavure dans l'emplacement des têtes de boulons ou des écrous.

Pendant longtemps on a exigé le perçage à la mèche à froid, mais ce procédé entraîne une grande perte de temps et par suite une majoration du prix de revient.

A la suite de nombreux essais, le poinçonnage à chaud a été autorisé sous la réserve qu'il sera remédié, au besoin par un dressage à la presse, aux dépressions produites par cette opération de perçage au poinçon, et que les bavures seraient enlevées à la lime. Il est même permis de penser que dans certains cas, lorsque le métal sera de très bonne qualité, on pourra autoriser le poinçonnage à froid.

Le poinçonnage, soit à chaud, soit à froid, exige que le métal soit malléable; il ne doit pas s'écrouir sous l'action du poinçon, ni se fissurer sur le bord des trous.

Dressage des éclisses. — Bien que les barres aient été dressées à chaud à la sortie du laminoir, il se peut que les opérations du cisailage et de perçage en aient altéré la rectitude. Un nouveau dressage doit être fait à froid ou à chaud, par pression, et non par choc, quelle que soit la douceur du métal employé.

Le poinçonnage étant fait à chaud, par rechauffage au rouge cerise, on peut de la même chaude dresser les éclisses à la forme définitive. On fait usage d'une presse à vis ou d'une presse à excentrique, en intercalant des coins d'une forme appropriée.

III. — ÉPREUVES ET RÉCEPTION DES ÉCLISSES-CORNIÈRES.

La qualité du métal et la résistance de l'éclisse sont constatées, lors de la réception à l'usine, par les essais suivants :

Épreuve par flexion. — Pour l'essai par flexion, on forme, à l'aide de deux rails Vignoles, de 1^m50 de longueur, de deux éclisses-cornières PM et de quatre boulons serrés à bloc, un joint éclissé dans les conditions d'assemblage sur la voie, en laissant un jeu de 6 millimètres entre les rails éclissés.

Cette poutre rigide est disposée sur la machine du modèle dit « de Graffenstaden » de telle manière qu'elle repose, par les champignons des rails, sur deux couteaux d'appui espacés de 1 mètre, et que la pression soit exercée sur le joint, au milieu de l'intervalle de ces points d'appui.

De l'examen d'une série de résultats obtenus dans les essais par flexion depuis l'origine de l'application de l'acier aux éclisses-cornières modèle PM, il est établi que la flèche conservée par la poutre, après une charge de 9 tonnes, est nulle; en d'autres termes, la limite élastique du métal n'est jamais atteinte sous cette charge, et même dans les usines où l'acier pour éclisses est plus spécialement fabriqué au four Martin, cette limite peut s'élever jusqu'à 12.500.

On constate aussi que, sous une pression de 17.500, les flèches persistantes n'excéderont pas, en général, 30 millimètres; malgré cette dureté et cette élasticité relatives, les essais peuvent être poussés, sans qu'il y ait rupture, jusqu'à des pressions de 25 tonnes et même exceptionnellement de 30 tonnes, c'est-à-dire jusqu'au moment où l'on est obligé de cesser l'essai, les rails étant alors en contact à leurs extrémités, par suite de la flèche prise par les éclisses. Le métal est donc fort malléable.

Si l'on considère que dans l'essai à l'usine la distance des points d'appui est de 1 mètre, tandis

que sur la voie, cette portée est réduite à moins de 600 millimètres, on voit que la limite d'élasticité du métal employé ne serait atteinte en service que sous une pression supérieure à 15 tonnes, c'est-à-dire plus du double de celle que le joint est appelé à supporter au maximum et que ce joint peut, dans la plupart des cas, supporter, sans crainte de rupture pour les éclisses, une charge de 42 tonnes et même de 50 tonnes.

Épreuve par le choc. — Pour l'épreuve par le choc, la poutre d'essai est formée des mêmes éléments que pour l'essai par flexion, mais les supports d'appui sont espacés de 1^m10; les chocs sont produits par un mouton de 200 kilogrammes tombant successivement de 1^m90, 2 mètres, 2^m50 de hauteur; l'essai est continué jusqu'à ce que les extrémités des rails de l'assemblage se touchent par suite de la flèche prise.

Dans tous les cas, la rupture n'est pas obtenue au premier coup de mouton; elle a lieu parfois au second coup; fort rarement d'ailleurs les éclisses se cassent lors de l'épreuve par le choc; ce sont généralement les boulons qui sautent.

Épreuve par traction directe. — Pour l'épreuve par traction directe, on découpe à froid, dans les barres d'éclisses, des éprouvettes de 100 millimètres de longueur utile.

D'une série de tableaux d'épreuves par traction, il ressort que le métal fourni par la fabrication courante donne en moyenne les coefficients suivants :

| | |
|---------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 25 à 30 kilogrammes par millimètre carré. |
| Charge de rupture | 50 à 55 — — |
| Allongement pour cent | 20 à 28 p. c. |

On trouve exceptionnellement :

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Limite d'élasticité | 40 kilogrammes par millimètre carré. |
| Charge de rupture | 65 — — |
| Allongement pour cent | 16 p. c. |

Souvent l'allongement dépasse 25 p. c., ce qui dénote un métal malléable pouvant supporter d'autant plus facilement le cisailage, le poinçonnage et présenter dans les voies une grande résistance.

IV. — RÉSUMÉ.

En résumé, la qualité du métal la meilleure pour la fabrication des éclisses-cornières modèle PM, paraît être celle qui correspond aux conditions de réception suivantes :

Épreuve par flexion sur un joint éclissé. (Espacement des appuis : 1 mètre). — La flèche persistante doit être nulle sous une pression de 9 tonnes.

Le joint ne doit se rompre que sous une pression excédant 17^m500.

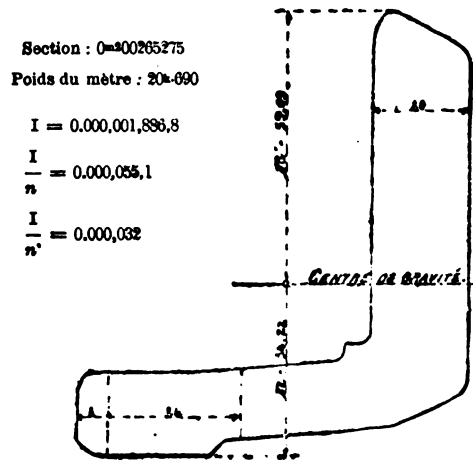
Épreuve par le choc (Espacement des couteaux : 1^m10.) — Le joint éclissé doit, sans rupture des éclisses, supporter le choc d'un mouton de 200 kilogrammes tombant de 1^m90 de hauteur.

Épreuve par traction directe. (Barrette de 100 millimètres de longueur utile, découpée à froid dans l'éclisse.) — Aux épreuves par traction directe, le métal doit présenter les coefficients de résistance et de malléabilité suivants :

| | |
|---------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 25 kilogrammes par millimètre carré au minimum. |
| Charge de rupture | 50 — — — — — |
| Allongement pour cent | 45 p. c. au minimum. |

La qualité d'acier correspondant à ces résultats est obtenu au convertisseur Bessemer et de préférence au four Siemens acide ou basique.

ÉCLISSE-CORNIÈRE MODÈLE PM, 1889.



Pour conserver au métal toute sa qualité, il est utile d'observer dans la fabrication, les précautions ci-après :

- 1° Les barres laminées seront affranchies des bouts écrus sur une longueur assez grande pour faire disparaître les défauts de matière qui se produisent tout spécialement dans les extrémités et surtout dans celle correspondant au haut du lingot;
- 2° Le coupage des barres ne doit laisser aucune déformation aux extrémités des éclisses, ce qui exige l'emploi de lames de cisaille épousant la forme de la pièce;
- 3° Les dépressions, déformations ou bavures du perçage ou du poinçonnage doivent être enlevées de manière à ce que les faces d'assemblages des éclisses s'appliquent bien, et sur toute leur longueur, sur les portées correspondantes des rails;
- 4° Enfin, si malgré le dressage préalable des barres à la sortie du laminoir, les éclisses ne sont pas absolument droites après les parachèvements du finissage, le redressage définitif doit être fait à la presse, à chaud, de préférence entre des matrices au profil extérieur exact de la pièce; dans aucun cas, on ne doit procéder à cette opération par percussion, ni au marteau.

V. — CONCLUSION.

Les résultats obtenus en service prouvent que, tout en exigeant l'emploi d'un métal assez dur pour assurer un long usage et pour éviter la déformation du joint, il y a intérêt à choisir ce métal

assez malléable pour résister en outre aux chocs répétés auxquels sont soumises les éclisses (1).

Le métal doit être d'ailleurs assez doux pour que l'usure produite par le frottement ou le battement des faces d'éclissage s'accroisse, non sur le rail, mais plutôt sur l'éclisse, le remplacement de celle-ci étant facile et d'un prix réduit.

D'autre part, les résultats des épreuves dans les usines montrent que ces conditions sont réalisées en faisant usage d'un acier demi-dur, et que cette qualité d'acier est la meilleure pour satisfaire aux diverses exigences de la fabrication.

CHAPITRE III.

Selles d'appui en acier, à talons, modèle PM.

I. — INTRODUCTION.

Dans une étude publiée dans la *Revue générale des chemins de fer*, en juillet 1884, M. l'ingénieur en chef Jules Michel, de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, a exposé que des selles ou platines sont interposées entre les rails Vignoles et les traverses, dans le but :

1° D'augmenter la surface d'appui sur les traverses, et d'empêcher ou d'atténuer ainsi les effets de resserrement de la voie dans les alignements droits et ceux d'élargissement dans les courbes;

2° D'établir la solidarité entre les attaches intérieures et extérieures du rail sur la traverse, en doublant de ce fait la résistance à l'écartement des rails.

Selles à talons, en fer. — Les talons ou rebords ont pour objet plus spécialement de protéger le crampon seul en usage jusqu'en 1876 (2) contre l'effort direct exercé par le patin du rail, effort qui se traduit par une usure rapide ou par le déversement de la tige.

A l'époque où les selles de ce modèle furent exécutées en fer, on dut condamner le type par suite des nombreuses ruptures qui se produisaient dans l'angle des talons.

Du mode de laminage de la selle à rebords, il résulte, en effet, que le maximum de l'effort en service se produit suivant le sens du laminage, et dans les plus mauvaises conditions quand il s'agit de « fer misé ».

Selles plates. — Pour éviter cet inconvénient, on employa pendant quelques années, jusqu'en 1872, des selles plates en fer, en disposant les trous de manière à faire travailler le métal sous le maximum d'effort en travers du sens du laminage.

A partir de 1872, ces selles plates furent fabriquées en acier en utilisant en forge les vieux rails en acier.

Selles à talons, en acier. — Par la suppression des talons, on perdait une partie des avantages indiqués ci-dessus; de plus, la tête du crampon ne portait que dans la faible partie en contact avec le dessus du patin du rail. On est ainsi revenu au modèle des selles à talons dès que le prix de l'acier s'est rapproché de celui du fer, ce métal présentant, en ce qui concerne la limite d'élasticité, la même résistance sensiblement dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire; c'est cette limite d'élasticité qu'il faut considérer.

Ce type a été renforcé à diverses reprises, surtout en ce qui concerne l'épaisseur, et le modèle actuel de selles d'appui en acier modèle PM, à talons, date de 1886.

(1) Sur 100 éclisses retirées des voies, 80 sont cassées au droit d'un trou intermédiaire d'éclissage, 20 sont fissurées au milieu, au joint des rails.

(2) A l'exclusion du tire-fond.

Choix du métal. Conditions de résistance. — Les dimensions de la selle ont été calculées de telle manière que le métal ne travaille pas à plus de $\frac{2}{5}$ de la limite d'élasticité, l'acier étant caractérisé par les coefficients suivants :

| | |
|-------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 25 kilogrammes par millimètre carré de section. |
| Charge de rupture | 50 — — — — |
| Allongement | 18 p. c. au minimum. |

C'est un acier doux susceptible de prendre légèrement la trempe.

Ce métal est malléable, ductile, ce qui facilite le laminage, le cisailage et le poinçonnage; il ne doit pas devenir fragile ni durcir sous l'action de la trempe, le phénomène de la trempe pouvant se produire, soit à la fin du laminage de la barre si elle passe à basse température dans les cannelures finisseuses, soit ensuite d'un refroidissement plus ou moins rapide à l'air ou à la pluie, soit enfin du dressage à chaud de la barre entre les fortes mâchoires de la presse.

D'autre part, si le métal était dur, cela aurait cet inconvénient que des deux éléments en contact, le rail et la selle, c'est le rail dont l'usure serait la plus rapide. Cette condition serait mauvaise au point de vue de la facilité du remplacement de l'organe usé; il est plus onéreux de remplacer le rail que les selles.

Pourtant l'acier doit être assez tenace pour que la selle ne se déforme pas en service et que les rebords ne se relèvent pas de chaque côté du patin du rail.

L'angle maximum atteint par le relèvement des bords de la selle en service est d'environ 10° , lorsque l'épaisseur sous le patin du rail est réduite du fait de l'usure, qui est très rapide dans les parties de voies ballastées en sable fin ⁽¹⁾.

Ces diverses considérations motivent le choix d'un acier doux pour cet emploi.

En service, la durée des selles d'appui dépend non seulement du choix du métal employé, mais aussi du mode de fabrication.

II. — FABRICATION.

Procédé de fusion. — Le traitement des fontes au four Siemens-Martin sur sole basique, donne le meilleur métal pour la fabrication des selles d'appui. Ce procédé est le seul adopté par les usines chargées de la fourniture des selles pour la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Fusion. — Les lingots sont obtenus par la coulée du métal dans des lingotières dites « borgnes », c'est-à-dire ouvertes à une seule de leurs extrémités. Les lingotières de ce modèle donnent des lingots sains, sans tapures ni retirures ⁽²⁾.

Dimensions, poids des lingots. — Les dimensions transversales des lingots sont de 205×190
 $= 39000$ millimètres carrés, comparées à la section de la selle d'appui, on a le rapport $\frac{39000}{2750}$
 $= 14$ qui représente le corroyage acquis du fait du laminage.

Le poids varie de 200 à 220 kilogrammes. C'est le même lingot que celui adopté pour la fabrication des éclisses.

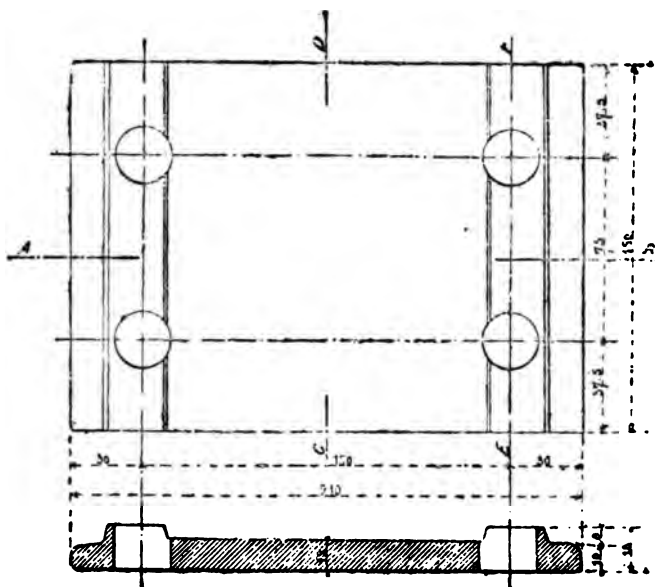
Laminage. — Le lingot fournit, après laminage, des barres d'environ 10 mètres de longueur.

(1) Il a été relevé, dans certaines tranchées humides ou sous des tunnels, des selles dont l'épaisseur primitive de 10 millimètres avait été réduite à 3 millimètres, après 15 ans de pose.

(2) Voir le 1^{er} paragraphe relatif à la fabrication des rails en acier.

Malgré le peu d'action de la trempe sur le métal de la qualité employée, il y a intérêt à laisser refroidir lentement ces barres en un tas serré, à l'abri de tout courant d'air vif ou de la pluie; elles sont dressées au préalable, à chaud, sur la plaque à la sortie du laminoir, au moyen de forts maillets en bois.

SELLE D'APPUI, MODÈLE PM, A DEUX TALONS, EN ACIER, MODÈLE 1886.



(1) Section de laminage suivant AB = 2,750 millimètres carrés.

(2) Section d'essai, partie pleine, suivant CD = 1,800 millimètres carrés.

(3) Section d'essai, partie percée, suivant EF = 1,584 millimètres.

$$\text{Pour section (2) pleine.} \begin{cases} I = 0,000\,000\,021.630. \\ \frac{I}{n} = 0,000\,003.60.. \end{cases}$$

$$\text{Pour section (3) percée.} \begin{cases} I = 0,000.000\,018.923. \\ \frac{I}{n} = 0,000.003.154. \end{cases}$$

Cisaillage. — Le cisaillage est fait à froid, avec des lames appropriées à la forme des talons de la selle.

Ce cisaillage, par suite de la douceur relative du métal, est obtenu d'une façon régulière et d'équerre au moyen de guides. La longueur utile est réglée par une butée. Lorsque les lames des cisaillies sont bien entretenues, le cisaillage donne des bavures insignifiantes et sans arrachements.

On a soin, lors du cisailage, d'affranchir les barres sur une longueur suffisante aux deux extrémités, de manière à enlever les bouts érus du lingot.

Dressage des selles. — Le dressage des barres à chaud ne suffit pas, et le cisailage produit d'ailleurs parfois une certaine déformation; le perçage des trous peut aussi fausser les pièces et leur donner du gauche. On corrige ces imperfections, soit à froid, soit à chaud, au moyen d'une presse munie de mâchoires présentant en creux l'empreinte de la selle.

Dans les usines qui poinçonnent les selles à chaud, on profite de la même chaude pour effectuer successivement les deux opérations de perçage et de dressage.

Perçage des trous. Poinçonnage. — Les usines ont la faculté de percer les trous à la mèche; cette méthode est lente, elle n'a d'autre avantage que de ne pas déformer les selles autour des trous en déprimant la matrice; elle ne donne un perçage rigoureux et aux cotes d'écartement que si les mèches sont bien guidées et si les trous sont réglés exactement à l'aide d'une plaque-guide, formant gabarit.

Aussi les forges sont-elles autorisées à employer le poinçonnage, soit à chaud, soit à froid.

On perce simultanément les quatre trous avec des poinçons et des lits bien réglés. On obtient ainsi une légère dépression du côté de l'entrée du poinçon et une bavure du côté de la sortie, mais ces imperfections sont très limitées si l'on a soin de changer l'outillage usé en temps utile. Il est préférable que la dépression se trouve du côté de la face d'appui sur la traverse, d'ailleurs cela rend le poinçonnage plus facile, car si l'attaque est faite du côté du talon, le poinçon tend à se déverser vers la partie plus mince de la selle.

Le poinçonnage se fait en attaquant la selle par dessous, après renversement du côté opposé aux talons, afin que la conicité des trous soit la même que celle des tire-fond; on augmente ainsi les surfaces en contact entre la selle et les tire-fond; aussi dans ces conditions, l'usure des tire-fond est-elle très sensiblement réduite.

Recuit. — Bien que le métal soit malléable à froid, il est utile, après le cisailage et le poinçonnage à froid, de faire subir un recuit aux selles pour faire disparaître l'écrouissage local que produisent ces deux opérations.

Si le poinçonnage est fait à chaud, ainsi que le dressage, le refroidissement lent des selles en tas suffit.

III. — ÉPREUVES.

On constate la qualité, pour le métal comme pour les selles finies, par une série d'épreuves :

Épreuve par traction directe. — Des barrettes de 100 millimètres de longueur utile sont découpées à froid dans les barres laminées au profil des selles.

Les essais de traction ont donné, d'après de très nombreuses expériences, les résultats suivants :

1° La limite d'élasticité du métal varie de 26 à 32 kilogrammes par millimètre carré de section; elle descend par exception à 22 kilogrammes et elle atteint, aussi par exception, 34 kilogrammes;

2° La charge de rupture varie entre 50 et 52 kilogrammes en moyenne; elle est comprise entre les limites extrêmes, fort rarement atteintes, de 44 et de 65 kilogrammes par millimètre carré de section;

3° L'allongement donne en moyenne de 22 à 29 p. c.; il est descendu au-dessous de 15 p. c. par suite d'un accident de fabrication, et il a atteint jusqu'à 33 et 35 p. c.

Ces conditions caractérisent un métal doux et malléable.

Épreuve par le choc. — Pour l'essai au choc, la selle percée repose, par ses talons, sur des couteaux espacés de 160 millimètres, et elle reçoit, au milieu de l'intervalle des appuis, le choc d'un mouton de 31 kilogrammes tombant de 2 mètres de hauteur.

La selle ainsi disposée reçoit dans tous les cas, sans avarie, deux coups de mouton successifs; elle résiste même en moyenne à trois ou quatre coups, et, au premier coup, la flèche, qui est de 8 ou 9 millimètres en moyenne, n'excède, dans aucun cas, 11 millimètres; cette flèche est réduite à 6 millimètres avec du métal un peu dur.

Le métal est donc tenace, malgré sa douceur relative.

Épreuve par pliage à l'aide d'un levier de 2 mètres de longueur. — Pour cette épreuve, la selle encastrée par l'un des talons est maintenue par une clavette; la partie libre entre la ligne d'encastrement et l'arête du deuxième talon est de 20 millimètres.

La selle est alors soumise à un effort de flexion au moyen d'un levier à fourche qui embrasse le deuxième talon et sur lequel la charge est appliquée à une distance de 2 mètres de la ligne d'encastrement.

La charge indiquée au tableau ci-dessus est celle appliquée à l'extrémité du levier, y compris le poids de ce levier ramené à une distance de 2 mètres pour produire le pliage de la selle sous un angle de 30°, pliage qui tend à ouvrir l'angle formé par le talon et la face supérieure.

La pièce ne casse jamais au premier pliage, et elle supporte en moyenne, avant de se rompre, deux pliages à 30° et deux redressements.

Les ruptures se produisent généralement dans l'angle du talon. Dans cette partie, la section est réduite, par le poinçonnage, à 1^m2584, tandis que dans la partie non percée, cette section est de 1^m2800.

L'effort exercé pour produire le pliage sous un angle de 30° est de 110 kilogrammes environ, ce qui représente une charge de 61 kilogrammes par millimètre carré pour la section pleine, et de 70 kilogrammes par millimètre carré pour la section percée.

Épreuve d'agrandissement des trous. — Lorsque le perçage est fait au poinçon et à froid, les trous peuvent présenter des fissures sur les bords. On constate cet accident quand on enfonce un poinçon conique gradué dans ce trou. Les chances de rupture ou de fissure étant d'autant plus grandes que le trou est plus rapproché du bord, on éprouve le métal à ce point de vue en perçant, dans les barres laminées et avant le découpage, des trous de 22 millimètres au poinçon dans l'un des angles, à 28 millimètres des deux bords.

Les divers essais de ce genre ont prouvé qu'avec la qualité choisie pour le métal, il ne se produit pas de fissures au poinçonnage.

Cette épreuve, qui peut être exercée sans frais sur les bouts affranchis des extrémités des barres, montre encore si les bouts érus sont coupés sur une longueur suffisante. Sinon, ce poinçonnage ferait découvrir, le cas échéant, les dédoubleures du métal.

Composition chimique. — Le métal fourni contient peu de carbone : 1 1/2 millièmes à 2 millièmes.

La proportion de manganèse varie entre 4 et 7 millièmes.

Les métalloïdes dont la présence est nuisible pour la résistance et surtout pour la malléabilité n'entrent que pour une minime proportion, 4 à 9 dix-millièmes pour le soufre, 2 1/2 dix-millièmes à 1 millième pour le phosphore.

IV. — RÉSUMÉ.

En résumé, la qualité du métal employé pour la fabrication des selles d'appui est définie par les conditions ci-après :

Épreuve par traction directe. — L'acier doit être doux.

Limite d'élasticité : 25 kilogrammes par millimètre carré de section.

Charge de rupture : 50 kilogrammes par millimètre carré de section, avec tolérance de 4 kilogrammes en plus ou en moins.

Allongement : 18 p. c. au minimum.

Épreuve par choc. — L'acier doit être malléable à froid.

La selle posée, par les talons, sur deux couteaux espacés de 16 centimètres, résiste à deux chocs successifs d'un mouton de 31 kilogrammes tombant de 2 mètres de hauteur. La flèche conservée par la selle après le premier coup de mouton, ne doit pas excéder 10 millimètres en moyenne.

Épreuve de pliage à l'aide d'un levier. — La malléabilité du métal employé doit permettre le pliage sous un angle de 30°, le talon restant en dehors.

Épreuve d'agrandissement des trous. — Le poinçonnage à froid ne doit pas altérer le métal, il ne doit se produire aucune fissure.

Cette qualité est obtenue dans les fours du système Siemens-Martin basique; les degrés de dureté, de malléabilité et de ténacité les plus convenables sont obtenus avec ce procédé qui permet l'élimination des éléments nuisibles, tels que le soufre et le phosphore.

Certaines précautions sont nécessaires :

Les lingots obtenus dans des lingotières dites « borgnes » doivent être de dimensions transversales assez fortes pour assurer le corroyage lors du laminage.

Les barres laminées doivent être refroidies lentement et à l'abri de la pluie et des courants d'air vif. Les bouts écus de ces barres, provenant des extrémités du lingot, doivent être affranchis sur une assez grande longueur.

Les barres doivent être guidées pour le cisailage.

Les lames des cisailles doivent être en bon état, pour éviter les déchirures.

Lorsque le poinçonnage est fait à chaud ou à froid, il doit s'effectuer avec des poinçons sains et entrant avec peu de jeu dans la matrice.

Le dressage des pièces doit être fait à chaud et à froid, à l'aide d'une forte presse, dans des lits épousant la forme de la selle.

Enfin, on doit remédier à l'écrouissage local dû au cisailage et au poinçonnage à froid, par un refroidissement lent.

V. — CONCLUSION.

Les résultats acquis démontrent que les selles d'appui, d'un remplacement en service plus facile et moins onéreux que les rails, doivent être d'un métal doux et que cette douceur relative est nécessaire pour éviter :

1° Une usure trop rapide, soit du rail, soit des tire-fond dans les parties en contact;

2° Les ruptures.

L'emploi du métal doux exige seulement que l'épaisseur de la selle soit augmentée.

Sur 100 selles d'appui, en acier, à talons : 52 ont été retirées des voies pour rupture à l'angle du talon ou au milieu de l'assise du rail; 48 ont été retirées pour usure et ovalisation exagérée des trous.

CHAPITRE IV.

Selles-arrêt en acier, modèle PM.

I. — INTRODUCTION.

Objet de la selle-arrêt. — Lors de la première application de l'acier Bessemer à la fabrication des rails à large patin, modèle PM, on a percé le patin au-dessus de chaque traverse, et les rails étaient attachés au moyen de chevillettes; le tout était ainsi solidaire dans le but d'arrêter le glissement longitudinal de la voie, dans le sens de la marche des trains, glissement d'autant plus intense que la pente est plus prononcée et le trafic de la ligne ou la charge des trains plus considérable.

Cette disposition, en effet, empêchait le glissement, mais on eut bientôt constaté que le perçage du patin avait le grave inconvénient de déterminer la rupture ou tout au moins l'usure rapide au patin d'un grand nombre de rails, alors que le champignon était à peine usé.

Après un temps de service relativement court (une année au plus), il a été relevé les résultats ci-après :

1° Les rails présentaient, entre les trous et le bord du patin, un certain nombre de fissures, dans une proportion variable entre 22 p. c. et 41 p. c. des barres posées, par suite, pour partie du moins, des chocs produits lors de l'enfoncement des chevillettes ;

2° Les fissures se produisaient fréquemment dans plusieurs trous pour un même rail, et le plus souvent dans le deuxième trou près des extrémités ;

3° Le trou s'ovalisait sous l'action de déplacement du rail; souvent même, le patin était cassé sur une certaine longueur de chaque côté du trou ;

4° La chevillette d'attache se trouvait entaillée elle-même et encastrée au collet par le bord du patin du rail à un tel point que la section de cette chevillette était réduite de plus du tiers.

Ces diverses conditions étaient nuisibles à la solidité de la voie; aussi l'emploi de la chevillette d'arrêt fut-il bientôt abandonné. Dès la première année, l'éclisse fut munie d'un patin recourbé et assez prolongé pour s'appuyer contre la selle de la traverse de contre-joint, le joint étant en porte-à-faux.

Enfin, en 1883, sur la proposition de M. l'ingénieur en chef Jules Michel, deux dispositions furent prises pour relier le rail aux traverses :

1° Le rail fut fixé à chaque extrémité sur les traverses de contre-joint par des tire-fond vissés dans des éclisses-cornières ;

2° Dans certaines parties de la ligne, en des points où la voie est très fréquentée et en forte pente, il fut placé sous chaque rail de 10 mètres de une à trois selles-arrêt.

Conditions d'emplot de la selle-arrêt. — La selle-arrêt est formée d'une large bande d'acier doux repliée sur l'âme du rail, auquel elle est attachée au moyen d'un boulon de 25 millimètres de diamètre; elle est fixée sur la traverse à l'aide de trois tire-fond (deux à l'intérieur de la voie et un à l'extérieur), dont la tête porte sur le patin du rail. De ce fait, le rail, la selle-arrêt et la traverse sont rendus solidaires.

On fait varier le nombre des selles-arrêt par rail suivant la déclivité et le trafic de la ligne.

Par suite de sa courbure en forme de console, la selle-arrêt s'oppose aussi au déversement du rail, et par suite à l'écartement ou au resserrement de la voie qui peuvent en résulter.

Les résultats obtenus en service ont prouvé que ce but est atteint et que les tire-fond d'attache

sont ainsi protégés. L'emploi de cet utile élément de la voie sera généralisé dans toutes les parties de la ligne les plus fatiguées.

Dimensions de la selle-arrêt. — L'épaisseur de la selle-arrêt était au début de 10 millimètres; elle a été augmentée peu après et portée à 12 millimètres, comme pour les selles d'appui.

Conditions de résistance. — En principe, on doit chercher que l'usure se porte sur la selle-arrêt plutôt que sur le rail : la selle-arrêt est d'un remplacement plus facile et moins onéreux.

Les barres ont à subir un pliage à chaud. Cela exige que le métal soit d'une grande douceur. On a adopté la qualité caractérisée par les coefficients suivants :

| | |
|-------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 22 à 25 kilogrammes par millimètre carré. |
| Charge de rupture | 45 kilogrammes par millimètre carré. |
| Allongement | 25 p. c. au minimum. |

L'emploi de l'acier doux soudable, ainsi caractérisé, présente aussi l'avantage de supporter le poinçonnage des trous, soit à chaud, soit à froid, moyen de perçage rapide qui facilite le travail de finissage et permet un prix fort réduit ⁽¹⁾

Le métal ne doit pas être susceptible de devenir fragile sous l'action de la trempe; pendant la fabrication, la selle-arrêt, qui est repliée et poinçonnée pour partie à chaud, peut être soumise parfois à des refroidissements brusques.

II. — FABRICATION.

Indépendamment d'un choix judicieux du métal, il faut apporter certains soins dans le pliage et dans le finissage de la selle arrêt.

Fabrication du lingot. — Le procédé Martin sur sole neutre ou basique et le procédé Robert basique conviennent bien, l'un et l'autre, à la fabrication du métal de la qualité la plus convenable pour cet emploi, comme étant employés avec succès pour obtenir les aciers doux et extra-doux soudables.

Les minerais et les fontes doivent être choisis de telle sorte que par le traitement dans le haut-fourneau ou dans les fours, les métalloïdes nuisibles, tels que le phosphore et le soufre, soient éliminés ou ne restent plus qu'en très faible proportion.

Fusion. — Le métal est coulé dans des lingotières borgnes qui ont, ici encore, le grand avantage de fournir des lingots propres, sans tapures, sans fissures et sans retirures.

Dimensions et poids des lingots. — Les lingots obtenus, de 39 à 40 millimètres carrés de section transversale, et du poids de 200 à 230 kilogrammes, sont amenés, par le laminage des barres, à une section réduite de 17.40 à 18 millimètres carrés, ce qui donne comme corroyage le rapport :

$$\frac{39000}{1740} = \frac{40000}{1800} = 22$$

Laminage. — Le laminage des lingots obtenus comme il est dit ci-dessus, produit des barres méplates de 15 mètres environ de longueur, défalcation faite des bouts écus.

(1) Les selles-arrêt sont livrées dans la gare du réseau la plus rapprochée de l'usine au prix de 27 fr. 40 c. les 100 kilogrammes. Chaque selle-arrêt modèle PM pèse 4 kil. 850 gr.

Malgré le peu d'action que peut exercer la trempe sur la nature du métal employé, on prend toutes précautions pour que les barres soient refroidies lentement et à l'abri, sous la halle de laminage.

Cisaillage. — Après refroidissement des bouts écrus, les barres laminées sont débitées, à la cisaille, en un certain nombre de tronçons de la longueur nécessaire pour fournir chacun une pièce.

On obtient des coupes régulières et bien équarries, en guidant les barres latéralement jusqu'à la lame de la cisaille. On a soin de changer ces lames en temps utile pour que la coupe ne soit pas déchirée comme cela se produit avec des lames usées ou ébréchées.

Poinçonnage du trou de 55 millimètres de diamètre. — Une fois la selle repliée, on ne pourrait obtenir que par un perçage à la même le trou de 55 millimètres de diamètre, à travers lequel passe la tête du tire-fond pour venir s'appuyer sur le patin du rail.

Le plus souvent, ce trou est poinçonné avant le pliage de la pièce, en réglant la distance du poinçon par rapport aux guides latéraux de la bande à poinçonner, au moyen d'une butée.

Pliage à chaud. — Le faible degré de carburation du métal permet d'élever la pièce, sans crainte de la brûler, à une forte température, au rouge cerise un peu clair; puis elle est pliée, en une ou deux chaudes, entre des mandrins appropriés à la forme à donner, soit à l'aide d'un pilon, soit de préférence au moyen d'une presse à vis ou d'un balancier à friction.



Le pliage au pilon a l'inconvénient de modifier les épaisseurs dans les parties frappées.

De plus, on fait couler alors un jet d'eau vive sur la selle pour faire tomber l'oxyde ou les battitures sous les derniers chocs du marteau. La pièce obtenue ainsi est propre, les faces sont lisses, mais il semble qu'il est encore préférable de faire tomber cette couche d'oxyde en grattant simplement les surfaces.

Recuit. — Le refroidissement en tas, après pliage, à haute température, sert de recuit.

Perçage des trous d'attache. — Que le perçage de ces trous soit fait au foret ou, comme il est dit plus haut, au poinçon le plus souvent, la pièce est appliquée sur la machine à l'aide de mâchoires ajustées, de façon que les poinçons ou les mèches soient guidés par rapport aux bords latéraux et aux faces de la selle-arrêt contre lesquels viennent s'appliquer l'âme ou le patin du rail.

Résultats d'essais sur les selles-arrêt, modèle PM, en acier.

| DESIGNATION DES USINES. | LIMITES DE VARIATION DES RÉSULTATS. | | ÉPREUVES PAR TRACTION DIRECTE. | | | | ÉPREUVES DE PLIAGE A FROID. | | | COMPOSITION CHIMIQUE. |
|-----------------------------------|---|--|--|----------------------|---|---|---|--|---|-----------------------|
| | Nombre d'essais. | Limite d'élasticité par millimètre carré. | Charge de rupture par millimètre carré de section. | Allongement p. e. | LIMITES DE VARIATION DES RÉSULTATS. |  |  | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Usine A. | Maximum. | 6 | Kilog. 34.5 | Kilog. 55.6 | P. e. 36.0 | Pliage suivant la flèche de la partie resourcée a. b. Angle sous lequel commencent les criques ou fissures en b. | Pliage suivant la flèche de la partie a. d. sur a. b. Angle sous lequel commencent les criques ou fissures en a. | | Teneurs en : | |
| | Minimum. | | 49.7 | 41.7 | 25.0 | | | | | |
| | Moyenne. | | 25.1 | 40.9 | 29.7 | | | | | |
| Usine B. | Maximum. | 5 | 31.2 | 56.0 | 31.0 | Ouverture complète sans fissure. | Pliage à bloc sur a. b. sans fissure. | | Carbone. 0.05 à 0.1 | |
| | Minimum. | | | | | | | | | |
| | Moyenne. | | 29.8 | 84.4 | 28.0 | 90° | 60° | | Manganèse. 0.3 à 0.4 | |
| | | | 30.5 | 49.4 | 30.0 | 135° | 80° | | Soufre. 0.03 à 0.05 Phosphore. 0.02 à 0.05 | |

III. — ÉPREUVES.

Lors de la fabrication, il est procédé à une série d'épreuves sur les barres laminées et sur les pièces fines.

Épreuve par traction directe sur les barres méplates. — Les barrettes d'épreuve par traction sont découpées à froid dans les barres laminées.

Par le tableau résumé des résultats d'épreuves, on constate qu'en fabrication courante, le métal employé donne :

1° Pour limite d'élasticité, une moyenne de 25 à 30 kilogrammes par millimètre carré de section;

2° Comme charge de rupture, 45 à 49 kilogrammes en moyenne par millimètre carré, sans que cette résistance descende au-dessous de 42 kilogrammes; elle atteint exceptionnellement 55 kilogrammes;

3° 30 p. c. d'allongement moyen, sans jamais descendre au-dessous de 25 p. c. et atteignant quelquefois jusqu'à 36 p. c.

Ce qui caractérise un métal doux et malléable.

Essai de pliage à froid sur selles-arrêt. — Les essais de pliage à froid faits sur les pièces fabriquées, permettent de juger si le métal employé est de qualité convenable, et, en même temps, si le travail de forge ou d'étampage qu'ont subi les selles-arrêt n'a pas altéré sa malléabilité.

Le marché exige seulement :

1° Que la partie recourbée *a b c* servant de logement au patin du rail, puisse être ouverte à 45°;

2° Que la patte verticale *a d* puisse être inclinée sur la partie *a b* suivant également un angle de 45°; en fait, on obtient assez facilement une ouverture de la partie recourbée assez complète pour l'amener dans le prolongement de *b c* et pour rabattre à bloc la face *a d* sur *a b* sans qu'il y ait trace de fissures dans les angles.



Dans tous les cas, les conditions imposées sont largement dépassées avant qu'il y ait ni fissures ni criques dans les parties pliées.

Le métal est donc malléable à froid; il ne s'écrouit pas, et il ne prend pas la trempe au forgeage et à l'étampage.

Composition chimique. — Le métal employé pour la fabrication des selles-arrêt contient peu de carbone, 0.05 à 0.1 p. c.; une faible teneur en manganèse, 0.3 à 0.4 p. c.; une minime proportion de soufre, 0.03 à 0.05 p. c., et la teneur en phosphore varie de 0.02 à 0.03 p. c.

IV. — RÉSUMÉ.

L'acier employé exclusivement pour la fabrication des selles-arrêt PM est de la qualité dite « acier doux soudable » qui répond aux conditions de résistance et de malléabilité ci-après indiquées.

Épreuve par traction directe. — En ce qui concerne les essais par traction directe sur des barres destinées à la fabrication des selles-arrêt, le métal doit donner les coefficients :

| | |
|----------------------|--|
| Limite d'élasticité. | 22 à 25 kilogrammes par millimètre carré de section. |
| Charge de rupture. | 45 — — — |
| Allongement | 25 p. c. au minimum. |

Épreuve de pliage à froid. — Le métal doit être assez malléable pour ne pas être altéré par le travail dans le cours de la fabrication, et permettre, à froid, l'ouverture ou la fermeture à 45° des angles produits à la forge dans le pliage des pièces.

Les métaux ainsi définis peuvent être obtenus par les procédés Siemens-Martin et Robert basique.

Pour conserver, après la mise en œuvre, la parfaite qualité du métal, il est nécessaire de prendre certaines précautions :

Les lingots doivent être coulés dans des lingotières borgnes et de dimensions telles que la réduction de section au laminage des barres produise un corroyage suffisant;

Après le laminage, les barres seront conservées en tas jusqu'au refroidissement total, pour éviter un refroidissement trop brusque;

Les barres doivent être guidées afin d'assurer le cisailage suivant un carré exact; les lames de cisaille doivent être remplacées assez fréquemment pour que les coupes soient franches et sans arrachements;

De même, en ce qui concerne le perçage ou le poinçonnage, les tronçons cisailés doivent être guidés de manière que le perçage soit effectué exactement et suivant les écartements nécessaires; les poinçons doivent être en bon état afin d'éviter les arrachements de métal;

Enfin, le pliage à chaud ne doit s'effectuer que sur des barres chauffées uniformément au rouge cerise clair; on doit éviter le décapage par projection d'eau.

De ce fait, il est préférable d'employer pour cette opération la presse à vis ou le balancier à friction, au lieu du pilon.

En employant le pilon, il se présente cet inconvénient qu'il modifie les dimensions de la barre laminée, cette barre étant ainsi soumise à un étirage énergique.

V. — CONCLUSION.

Ainsi qu'il a été dit pour les selles d'appui, dans l'usage, l'usure entre les pièces en contact dans la voie doit s'exercer de préférence sur les selles-arrêt et non sur les rails ou sur les attaches, le remplacement des selles-arrêt étant facile et peu onéreux.

Le travail à chaud ou à froid que subissent les selles-arrêt dans leur fabrication, impose ici encore l'emploi d'un métal doux, malléable et que la trempe ne rend ni dur ni fragile.

Par les essais déjà faits, il est constaté que ces conditions sont faciles à obtenir en fabrication courante. Il y a lieu seulement de prendre quelques précautions dans le cours de la fabrication.

Enfin, l'examen des selles-arrêt dans les voies, plusieurs années après la mise en service, prouve que, malgré la douceur relative de l'acier employé, ces pièces ne subissent pas de déformations; l'ovalisation des trous et l'usure sont aussi fort réduites.

CHAPITRE V.

Boulons d'éclisses, modèle PM-2, avec tige en acier et écrou en fer.

I. — INTRODUCTION.

Détermination des formes et dimensions des boulons d'éclisses. — Le diamètre du boulon d'éclisse est limité, la dimension des trous percés dans l'âme du rail devant être elle-même réduite autant que possible, de manière à ne pas affaiblir le rail, surtout aux extrémités.

Dès l'origine, le diamètre de 25 millimètres a été adopté pour le boulon avec tige en fer, afin de tenir compte des efforts exercés.

Les trous correspondants dans le rail doivent présenter assez de jeu pour permettre la dilatation et aussi pour faciliter la pose, eu égard aux écarts qui peuvent se produire en exécution dans les dimensions des divers organes assemblés.

Par suite de la modification dans le perçage des éclisses qui a consisté à remplacer les trous ovales par des trous ronds ⁽¹⁾, la tête du boulon a reçu sur l'un des côtés une forme méplate qui lors de la pose vient s'appuyer sur le talon de l'éclisse; on empêche ainsi le boulon de tourner lors du serrage ou du desserrage de l'écrou, résultat qui était obtenu précédemment par l'encastrement, dans l'éclisse, des ergots venus de forge sous la tête du boulon.

Tige en acier. — Malgré la bonne qualité du fer fort qui était employé, il se produisait assez rapidement en service une dépression sur la tige, d'une part au contact du boulon et des éclisses et, d'autre part, au contact du boulon et du rail.

Cette usure est assez forte dans les fortes pentes pour empêcher le démontage du boulon que l'on est alors obligé de casser.

L'emploi de l'acier s'est ainsi imposé, pour la fabrication de la tige du boulon, dès que le prix du métal fondu s'est rapproché de celui du fer de bonne qualité, c'est-à-dire dans le courant de l'année 1887. On a ainsi combattu efficacement, par une augmentation de résistance :

1° La tendance à l'usure;

2° Les efforts de cisaillement produits par la poussée des trains dans les lignes en pente prononcée.

Il y a également intérêt à employer l'acier doux pour faciliter le refoulement de tige que nécessite la formation de la tête à côté méplat; avec le fer misé, les fibres sont coupées dans cette opération, et l'on est ainsi exposé au décollage ou au cisaillement des têtes plutôt qu'avec le métal fondu.

Écrou en fer. — Seul l'écrou a été conservé en fer. L'écrou en acier coûte plus cher, dans une proportion de 30 p. c., et il est moins facile de le couper pour l'enlever lorsqu'il est rouillé.

Conditions de fabrication des boulons. — Dans tous les cas, il est nécessaire que les écrous soient taraudés de manière à ne pas présenter de jeu sur les tiges et à ne pouvoir se monter complètement qu'en les serrant à la clé sans trop de difficultés, mais jamais à la main. Cette condition permet seule d'assurer au joint un serrage convenable, n'exigeant pas de revisions fréquentes.

Conditions de résistance des tiges de boulons d'éclisses. — Le métal devant subir un travail de forge pour le frappeage de la tête, et un taraudage à froid, il faut le choisir dans la catégorie des aciers doux.

La qualité la meilleure pour l'emploi paraît être celle qui est caractérisée par les coefficients suivants, lors de l'épreuve par traction :

| | |
|-------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 22 à 25 kilogrammes par millimètre carré. |
| Charge de rupture | 45 à 50 — — |
| Allongement | 18 à 22 p. c. |

Qualité sur laquelle la trempe n'a pas d'influence sensible; cette condition est essentielle si

⁽¹⁾ Voir ci-dessus, chapitre III.

l'on considère que pendant le matriçage des têtes, les tiges portées au préalable à la température du rouge, reçoivent pendant le refoulement l'action d'un filet d'eau froide.

II. — FABRICATION.

Quelle que soit la qualité du métal employé, il est utile de prendre certaines précautions dans le travail de transformation, pour assurer à la pièce finie, au boulon, les qualités auxquelles il doit satisfaire.

1° Tiges en acier.

Procédé de fusion. — Le procédé de fusion adopté pour la fabrication de l'acier doux pour boulons est celui du four Martin-Siemens à revêtement basique exclusivement; c'est, en effet, le seul qui assure la production d'aciers complètement débarrassés des matières nuisibles, soufre et phosphore.

Lingots. Dimensions. — Le métal est coulé dans des lingotières coniques borgnes.

Les lingots, de poids variables, ayant généralement une section transversale uniforme de 40 millimètres carrés environ, sont réduits par le laminage en barres rondes de 25 millimètres de diamètre et subissent l'énorme corroyage représenté par le rapport :

$$\frac{40000}{491} = 81$$

Laminage. — Les lingots sont d'abord laminés en barres rectangulaires ou carrées de 7,500 millimètres carrés de section dites « ébauchés » qui sont débitées à la scie, à chaud, en 3 ou 4 tronçons. Les bouts écrus sont détachés sur une longueur suffisante pour faire disparaître les défauts qui se trouvent aux deux extrémités de la barre, surtout celle qui correspond au haut du lingot.

Les fragments ainsi obtenus sont rechauffés, puis laminés à nouveau en barres ogives de 50 × 50 millimètres que l'on coupe à la cisaille en billettes de 700 à 900 millimètres de longueur pour fournir chacune, par un dernier laminage, des barres rondes de 4 à 5 mètres de longueur et de 25 millimètres de diamètre. Les barres ogives et les rondes de 25 sont aussi affranchies à la cisaille de forge sur une certaine longueur.

Les ébauchés, billettes ogives et barres rondes sont refroidis lentement, en tas, sous la halle de laminage, de manière à subir un certain recuit.

Cisaillage des tiges. — Les barres rondes de 25 millimètres sont débitées en tiges dont les tranches sont bien normales aux génératrices et de longueur convenable, au moyen d'une cisaille à lames guidées; la longueur de ces tiges, y compris celle de 50 à 52 millimètres, nécessaire au refoulement de la tête, est déterminée par une buttée.

Fraisage des bouts de tige. — Quelle que soit la perfection du cisaillage, il y a déformation de la tige aux extrémités; la déformation est en général assez prononcée pour que, tel quel, le bout ne puisse entrer dans la matrice ménagée dans l'enclume du balancier à cône de friction, lors du frappage de la tête.

Il est donc prudent d'abattre tout d'abord, à la fraise, le chanfrein que doit avoir le boulon à son extrémité.

Étampage de la tête. — Les tiges sont rechauffées au rouge cerise clair, à l'aide de fours de l'un des systèmes connus, et seulement, autant que possible, à l'extrémité qui doit former la tête. Malgré toutes les précautions prises, le reste de la tige est amené à une certaine température; on refroidit de suite cette extrémité en la trempant dans un baquet d'eau.

Ainsi préparée, la tige est introduite par l'extrémité préalablement fraisée, dans la matrice inférieure, ou bouchon d'un balancier à friction; elle porte sur une broche mobile qui permet de la relever au moyen d'une pédale, après le frappe.

La partie supérieure de la matrice porte, en creux, l'empreinte exacte de la tête, tandis que le tas fixé à l'extrémité de la vis du balancier est plan; il présente en creux les marques d'usine et le millésime qui doivent être reproduits en relief sur la tête du boulon.

Avec un seul coup de balancier le bout de tige qui dépasse la matrice, et dont la longueur est réglée par la broche de la pédale, est refoulé dans l'empreinte et en épouse la forme.

Si l'on n'avait pas le soin de refroidir le bout des tiges, elles gonfleraient sur une certaine longueur et la tête serait moins nourrie; on éprouverait aussi une plus grande difficulté à sortir la pièce de la matrice après le frappe.

Bien que la trempe n'ait pas d'action bien sensible sur le métal employé, il est cependant utile de laisser refroidir les pièces en tas et lentement, ce qui procure une espèce de recuit; en procédant ainsi, on détruit l'écrouissage dû à l'étampage et le léger effet de trempe si peu prononcé qu'il soit.

L'acier trop dur ne permettrait pas un chauffage assez énergique pour que l'étampage pût s'effectuer en une seule chaude, ce qui augmenterait le prix de revient. En outre, par l'emploi de plusieurs chaudes, la qualité du métal serait altérée malgré les soins apportés au chauffage. Il y a avantage à réduire et le nombre des chauffés et le nombre des coups de balancier.

Ébarbage des têtes. — A la sortie du balancier, les têtes des boulons présentent une bavure tout autour de leur arête supérieure.

Les boulons sont posés alors par le bord de la tête, sur une matrice creuse; au moyen d'un poinçon ayant exactement la forme de cette tête que l'on a fixé sous la vis d'un balancier, on chasse le boulon à travers la matrice; la bavure est cisailée et la tête est ainsi parée et ajustée.

Redressage. — On profite généralement de ce que les tiges qui viennent d'être frappées sont encore légèrement chaudes, pour les dresser au marteau entre des étampes ou chasses creuses du diamètre de la tige, lorsque cela est nécessaire.

Filetage. — Le filetage se fait, à froid, à l'aide d'une machine à tarauder, du modèle ordinaire, soit en deux passes, soit plus généralement en une seule.

Lorsque l'acier du boulon est trop doux, les coussinets de la machine s'empâtent, leurs arêtes étant moins tranchantes après le filetage de quelques pièces, ces outils ne coupent plus le métal, ils l'entraînent et il se forme des arrachements dans les filets.

Si, par contre, le métal du boulon est trop dur, les coussinets s'usent et se détériorent très rapidement; ils doivent être, par suite, changés fréquemment; de là augmentation du prix de revient et retards dans la fabrication.

Dans la pratique, on fait choix d'un métal de dureté intermédiaire et dont la charge de rupture varie entre :

| | |
|----|--|
| 45 | kilogrammes par millimètre carré au minimum. |
| 50 | — — — au maximum. |

Pour éviter que les tiges à tarauder s'échauffent et que les coussinets soient détrem্পés, on a soin de les refroidir, pendant le taraudage, à l'aide d'un filet d'huile ou d'eau de savon; dans ce dernier cas, pour éviter l'oxydation, il faut sécher soigneusement les pièces, de préférence au four dormant, et enfin les graisser avant de les embariller.

2° Écrous en fer.

Forgeage des écrous en fer. — Les écrous en fer s'obtiennent de deux manières différentes :

1° *Par enroulement* d'un fer plat de section convenable sur un mandrin en fer ou en acier. L'anneau ainsi formé est soudé, au marteau, par amorces à recouvrement ayant au moins deux fois l'épaisseur de cet anneau; puis on façonne les pans à la forge sur l'enclume, dans des tas ou chasses à la forme voulue.

Cette méthode permet l'emploi de fer nerveux enroulé suivant le sens du laminage; mais la soudure présente toujours un certain aléa;

2° *Par forgeage mécanique à l'aide d'une machine spéciale.* Des barres de fer plat de 39×23 sont chauffées au rouge blanc sur la plus grande longueur possible et présentées par le bout chauffé entre les mâchoires de la machine à écrou. L'extrémité de la barre vient buter contre un taquet, ce qui détermine la longueur nécessaire pour un écrou.

A chaque tour de volant, une série d'outils (cispille, poinçon et empreintes) produisent presque simultanément leur effet utile : la barre est cisaillée, puis le carré découpé ainsi est comprimé entre deux mâchoires formant l'hexagone, tandis que le poinçon débouche le trou en refoulant la matière dans les angles de ces mâchoires; enfin l'écrou, chassé par un ressort, tombe dans un récipient métallique.

Le déchet, dans cette opération, est à peu près nul, la débouchure étant fort mince.

Il suffit de pousser la barre en l'introduisant entre les mâchoires de la machine, lorsqu'elles s'entrouvrent à chaque tour de volant.

Lorsqu'on arrive à une partie de la barre qui n'est plus chaude, on la replace dans le four.

Cette méthode très rapide nécessite l'emploi de fers spéciaux, à peine corroyés; le travail de frappe des écrous assure au métal le complément de corroyage nécessaire.

Il serait impossible d'employer cette machine à la fabrication de l'écrou en acier : ce métal, même très doux, présente toujours trop de raideur pour se prêter au matriçage dans les conditions qu'il comporte.

Filetage des écrous. — Que les écrous soient forgés mécaniquement ou au marteau à main, le mode de filetage est le même.

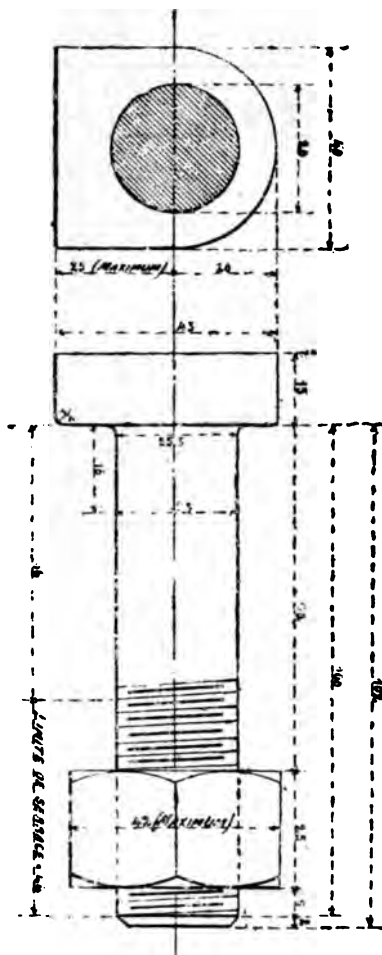
L'écrou est serré entre les mors d'une taraudeuse, sur le plateau de laquelle est fixé un taraud légèrement conique, qui traverse la pièce de part en part.

Quelques usines possèdent des machines spéciales, à plusieurs porte-tarauds, sur lesquels on taraude dix écrous et plus à la fois.

Le refroidissement des tarauds se fait dans l'huile ou dans l'eau de savon; dans ce cas, les mêmes précautions sont à prendre que pour les tiges taraudées. Il faut les passer au four pour les sécher, puis les graisser à l'huile.

BOULON D'ÉCLISSES MODÈLE PM-2.

PROFIL DES FILETS
Echelle quintuple.



Pas = 3 mm.
Profondeur des filets = 2 mm.

Résumé des épreuves faites, depuis 1887, sur des boulons d'éclisses, modèle PM-2, à tiges d'acier et écrous en fer.

| DÉSIGNATION DES USINES. | LIMITES DE VARIATION DES RÉSULTATS. | TIGES DU BOULON EN ACIER. | | | | | | | | | | ÉCROUS EN FER. | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------|-----------------------|----------------------|---|------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|-----------------------|----------------------|------|--|
| | | ACIER EN BARRES. | | | | | BOULONS FINIS. | | | | | FER EN BARRES. | | | Ag. andissement de 1 ^m du 3 ^m du trou de l'écrou non fileté. |
| | | Épreuves par traction. | | | Essais de pliage à 10° et redressement. | Nombre d'essais. | Épreuves par traction. | | Pliage de la tête à 12°. | Pliage de la tige fileté à 45° et redressement. | Épreuves de traction. | | | | |
| | | Limite d'élasticité. | Charge de rupture. | Allongement p. c. | | | Charge de rupture. | Allongement sur 10 ^m . | | | Limite d'élasticité. | Charge de rupture. | Allongement p. c. | | |
| Usine A. | Maximum. | 26.5 | 48.4 | 25.0 | 30 | Résisté. | Résisté. | 30 | Résisté. | Résisté. | Résisté. | Kilog. | 27.6 | 38.6 | 13.0 |
| | Minimum. | 22.4 | 44.2 | 15.1 | | | | | | | | Kilog. | 22.0 | 31.4 | 6.5 |
| | Moyenne. | 24.5 | 46.4 | 23.3 | | | | | | | | Kilog. | 24.3 | 33.7 | 8.4 |
| Usine B. | Maximum. | 28.0 | 47.8 | 38.0 | 60 | Résisté. | Résisté. | 60 | Résisté. | Résisté. | Résisté. | Kilog. | 21.5 | 41.3 | 14.0 |
| | Minimum. | 22.0 | 45.2 | 29.0 | | | | | | | | Kilog. | 18.3 | 36.3 | 7.0 |
| | Moyenne. | 26.0 | 46.8 | 35.0 | | | | | | | | Kilog. | 19.3 | 37.4 | 9.5 |
| Usine C. | Maximum. | 27.0 | 49.9 | 32.0 | 30 | Résisté. | Résisté. | 30 | Résisté. | Résisté. | Résisté. | Kilog. | 22.2 | 39.6 | 29.2 |
| | Minimum. | 23.2 | 45.8 | 22.0 | | | | | | | | Kilog. | 18.4 | 36.5 | 8.5 |
| | Moyenne. | 25.3 | 47.6 | 27.0 | | | | | | | | Kilog. | 19.2 | 38.4 | 18.4 |
| Usine D. | Maximum. | 30.5 | 57.2 | 32.0 | 25 | Résisté. | Résisté. | 25 | Résisté. | Résisté. | Résisté. | Kilog. | 22.6 | 39.2 | 16.3 |
| | Minimum. | 22.5 | 45.0 | 20.0 | | | | | | | | Kilog. | 19.4 | 34.3 | 9.2 |
| | Moyenne. | 27.6 | 51.8 | 25.97 | | | | | | | | Kilog. | 20.5 | 37.3 | 11.2 |

III. — ÉPREUVES.

La qualité des boulons d'éclisses est constatée à l'usine, lors de la fabrication, par des épreuves sur les matières employées et par des essais sur les pièces finies.

ÉPREUVES DES MATIÈRES EMPLOYÉES.

1° *Acier pour le corps du boulon.*

Épreuve par traction directe. — Des barrettes de 13^{mm}8 de diamètre et 100 millimètres de longueur utile sont tournées dans une partie des barres d'acier de 25 millimètres de diamètre destinées à la fabrication du corps du boulon.

Les données consignées au tableau ci-contre montrent, pour le métal couramment fourni, les résultats suivants :

1° La limite d'élasticité varie, en moyenne, de 24 à 28 kilogrammes par millimètre carré de section, sans jamais descendre au-dessous de 22 kilogrammes; lors des recherches sur l'acier le plus convenable, cette limite est montée exceptionnellement, dans l'une des usines, jusqu'à 30⁴5;

2° La charge de rupture varie en moyenne de 46 à 50 kilogrammes; elle a atteint, dans les tâtonnements du début, jusqu'à 57⁴2, mais sans descendre jamais au-dessous de 44 kilogrammes par millimètre carré de section, cas fort rare d'ailleurs;

3° Enfin, l'allongement moyen est compris entre 26 et 35 p. c.; dans aucun cas, il n'est inférieur à 20 p. c. et atteint parfois jusqu'à 38 p. c.

Épreuve de pliage à froid. — L'acier, en barres lisses de 25 millimètres, est assez malléable à froid pour supporter, sans criques ni gerçures, un pliage à 90° suivi d'un refroidissement.

Souvent, il subit plusieurs pliages successifs en sens inverse, sans qu'il se manifeste le moindre défaut.

2° *Fer pour écrous.*

Essai par traction directe. — Le fer à grain nécessaire pour le forgeage mécanique des écrous présente à la traction, les conditions de résistance ci-après :

1° La limite d'élasticité varie entre 19 et 24 kilogrammes par millimètre carré en moyenne; elle ne descend pas au-dessous de 18 kilogrammes et atteint exceptionnellement près de 28 kilogrammes;

2° La charge de rupture moyenne est comprise entre 34 et 38 kilogrammes par millimètre carré de section; exceptionnellement elle est abaissée à 32 kilogrammes, mais elle monte parfois aussi jusqu'à 41 kilogrammes;

3° Enfin, l'allongement moyen est de 8.5 à 18 p. c.; il descend quelquefois à 6.5 p. c. et atteint rarement 29 p. c.

Essai d'agrandissement des trous de l'écrou. — Quoique le fer employé pour le forgeage mécanique de l'écrou donne un allongement restreint sous forme de barre méplate, des essais d'agrandissement du trou, à froid, au moyen d'une broche conique graduée, permettent de constater que le forgeage augmente considérablement le corroyage du métal et sa malléabilité.

En fait, le diamètre de ce trou peut être augmenté de plus de 1^{mm}5 par cette épreuve sans qu'il se manifeste la moindre détérioration.

Dans l'épreuve suivante par traction sur les boulons finis, il n'y a pas déformation des écrous, ni de leurs filets, lorsque le boulon est monté sans jeu, en forçant très légèrement, de préférence.

ÉPREUVES DES BOULONS FINIS.

Épreuve par traction directe. — Pour cette épreuve le boulon est monté de telle sorte qu'il reste une longueur de serrage de 75 millimètres entre la tête et l'écrou.

L'examen du tableau montre que, lorsque la fabrication a été conduite dans de bonnes conditions, le travail de transformation n'altère pas la qualité du métal.

Cependant, pour les boulons finis, on a réduit les conditions imposées comme suit :

| | |
|-----------------------------|---|
| Charge de rupture | 42 kilogrammes par millimètre carré; |
| Allongement | 5 millimètres sur 75 millimètres ou 6.6 p. c. |

En fait, la charge de rupture varie entre 45 et 50 kilogrammes, et l'allongement entre 17 et 25 p. c.

Exceptionnellement, la charge de rupture descend à 40 kilogrammes et atteint jusqu'à 56 kilogrammes par millimètre carré; l'allongement, réduit parfois à 12 p. c., est porté aussi dans certains cas à 29 p. c.

Essai de pliage à froid dans la partie filetée. — Malgré les saignées, à angle presque vif, faites dans les tiges par le filetage, le métal est assez doux pour se plier encore à 90° et se redresser sans criques suivant un rayon de 75 et même 35 millimètres.

Le travail d'étampage et de filetage n'a donc écroui l'acier employé que dans une limite restreinte.

Essai de pliage de la tête. — Pour s'assurer que le refoilage n'a pas altéré le métal, on place la tige taraudée du boulon dans un bloc de fonte préalablement percé : la tête porte d'un côté sur une cale de 10 à 15 millimètres d'épaisseur; en frappant alors sur l'autre côté de cette tête, on tend à l'incliner sur la tige.

Dans cet essai, l'on constate que l'inclinaison de la tête sur la tige peut dépasser 12° sans qu'il se manifeste de fente au collet.

IV. — RÉSUMÉ.

Acier pour corps du boulon. — En résumé, l'acier le plus convenable pour la fabrication des tiges de boulons doit répondre aux conditions d'épreuves et de réception suivantes :

Essai par traction sur barres laminées. — Sous forme de barres laminées à 25 millimètres de diamètre, le métal doit présenter, aux épreuves par traction, les coefficients suivants :

| | |
|-------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 22 kilogrammes par millimètre carré de section; |
| Charge de rupture | 45 — — — |
| Allongement | 18 à 22 p. c. |

Épreuve de pliage sur barres laminées. — Il doit être assez malléable à froid pour subir, sans criques ni fissures, un pliage à 90° suivi d'un redressement.

Ces caractères sont ceux d'un acier doux, tenace et malléable.

Épreuve des boulons par traction. — Les boulons finis, essayés par traction, doivent présenter une certaine raideur et en même temps une certaine malléabilité, ce qui répond aux conditions suivantes :

Charge de rupture. 42 kilogrammes par millimètre carré;
Allongement 5 millimètres sur la longueur utile de 75 millimètres.

Épreuve de pliage des tiges filetées. — La tige doit pouvoir être pliée à froid à 45° dans la partie filetée et redressée ensuite, sans qu'il se manifeste de fissures ou de fentes au fond des filets.

Épreuve de pliage de la tête. — La tête du boulon doit pouvoir prendre à froid une inclinaison d'au moins 12° sur la tige, sans qu'il y ait décollement ni fissure du collet.

Ces trois dernières épreuves permettent de constater que le travail de transformation n'a pas altéré sensiblement la qualité du métal.

Ces diverses conditions d'épreuves assurent la fabrication d'un métal :

a) Assez dur : 1° pour résister à l'usure des parties en contact avec le rail et les éclisses, et à l'effort de cisaillement exercé sur les boulons; 2° pour se tarauder facilement sans empâter les coussinets ni s'arracher;

b) Assez doux et assez malléable pour ne pas devenir fragile sous l'action de la trempe et pour permettre le refoulement de la tête sans altération trop rapide de l'outillage.

Le métal de cette qualité est obtenu au four Martin-Siemens à sole basique ou neutre. Il est exempt de soufre et de phosphore, métalloïdes nuisibles à la malléabilité.

En partant d'un lingot à forte section coulé dans une lingotière conique borgne, l'acier de cette qualité est de grande densité, il prend du corps par le laminage.

Le métal n'est pas susceptible de s'écrouir dans les opérations d'étampage de la tête et de taraudage. Cependant, l'on a soin de laisser refroidir en tas et lentement, aussi bien les barres sortant du laminoir que les tiges étampes.

Le métal se coupe facilement à la cisaille et au taraudage; l'on doit prendre la précaution de tenir toujours en bon état les lames de la cisaille et les coussinets de la machine à tarauder.

FER POUR ÉCROUS.

Épreuve par traction. — Les écrous sont obtenus presque exclusivement par forgeage mécanique; ils exigent un fer laminé en barres méplates de 39 × 23, caractérisé par les coefficients suivants :

Charge de rupture. 35 kilogrammes par millimètre carré.
Allongement 6 à 8 p. c.

Épreuve sur écrou forgé. — Ce fer doit être de qualité telle que le corroyage acquis au forgeage permette l'agrandissement à froid, de plus de 1^{mm}5, du diamètre du trou de l'écrou, au moyen d'une broche conique.

L'emploi du fer fort n'est possible, pour cette fabrication, que dans le cas où les écrous sont forgés à la main, par enroulement d'un anneau soudé; or, comme ce procédé est coûteux, peu rapide et qu'il présente à cause de la soudure une sécurité toute relative, il y a avantage à tous égards à employer le forgeage mécanique, pour lequel on peut admettre du fer à gros grain, à peine corroyé, et qui du fait acquiert la ténacité nécessaire.

Enfin, comme les écrous ont tendance à se desserrer en service, quel que soit le type de

rondelle, il est nécessaire d'exiger des usines que le taraudage soit fait avec une rigoureuse exactitude.

Non seulement cet écrou ne doit avoir aucun jeu (*ne pas être gai*), mais encore il ne doit pas pouvoir se monter facilement à la main; il faut que l'écrou présente assez de serrage pour que l'ouvrier soit forcé d'employer une clé.

V. — CONCLUSION.

Les épreuves comparatives faites, en service et dans les usines, ont prouvé qu'il y a un réel intérêt à employer l'acier doux de préférence au fer pour la tige du boulon d'éclisses.

Ce ne sont pas les efforts de torsion exercés au serrage ou au desserrage qui déterminent la rupture, mais bien les efforts de traction; aussi n'est-il pas possible de casser un boulon en acier en le serrant à la clé.

Avec l'acier, la résistance est augmentée dans la proportion de 30 à 35 p. c.; de ce fait l'usure et le cisaillement exercés par la poussée du rail dans les voies en pente, sont très réduits.

Ce sont ces diverses considérations qui ont engagé la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée à adopter l'acier de la qualité déterminée par les conditions d'épreuves spécifiées plus haut, pour les tiges de boulons d'éclisses, dès 1887, au moment où le prix s'est rapproché sensiblement de celui du fer de bonne qualité.

Quant aux écrous, l'expérience a montré qu'il n'y avait pas lieu de les demander en acier, quant à présent, puisque, avec la qualité convenable de fer, choisie pour le forgeage mécanique, ces écrous présentent toutes les conditions désirables de résistance, tout en offrant cet avantage qu'ils peuvent être coupés facilement au besoin.

CHAPITRE VI.

Tire-fond en acier modèle P.M.

I. — INTRODUCTION.

Détermination des dimensions des tire-fond en acier modèle P.-M. — Dans une « Étude sur la stabilité des voies », publiée en juillet 1884 dans la *Revue générale des chemins de fer*, M. l'ingénieur en chef Jules Michel a fait ressortir :

1° Que l'emploi du tire-fond à pas de 10 millimètres pour l'attache des rails aux traverses, présente une résistance à l'arrachement de 60 p. c. supérieure à celle de la chevillette à section octogonale employée antérieurement;

2° Que l'effort nécessaire à l'arrachement du tire-fond est compris entre :

2,500 kilogrammes avec des traverses en mélèze ou en sapin;

Et 4,000 à 5,000 kilogrammes avec des traverses en hêtre ou en chêne.

Le bois était neuf dans les deux cas;

3° Qu'en employant l'acier au lieu du fer dans la fabrication des tire-fond, la limite d'élasticité et la charge de rupture sont augmentées parfois du double.

Ces conditions permettent de compter en service sur une usure moins rapide (!);

(1) Sur 100 tire-fond en acier retirés des voies, 85 pièces étaient usées au collet par le frottement du patin du rail, la section étant diminuée de plus de 30 p. c.; 15 pièces avaient été cassées du fait de plusieurs serrages ou desserrages successifs, le collet étant déjà usé, ou bien du fait de l'enfoncement dans des traverses percées avec une tarière d'un diamètre trop faible.

4° Que la supériorité du tire-fond en acier est encore plus accentuée lorsque le filetage de ce tire-fond est obtenu par forgeage ou par laminage à chaud et non pas par taraudage à froid ; avec le filetage à chaud, le métal n'est pas déchiré sur les bords ni au fond du filet ; le travail de corroyage, la régularité des filets assurent une plus grande résistance ; le filetage à froid, au contraire, écroute le métal et nécessite un recuit ;

5° Que les efforts de flexion et de cisaillement nécessaires sont considérables même pour déterminer un infléchissement :

a) De 1° correspondant au commencement de la déformation ;

b) De 15° représentant l'écart de la tête lorsqu'elle commence à échapper au bord du patin ;

Ces efforts varient, dans ce dernier cas, entre 4,000 et 5,000 kilogrammes ; ils sont d'ailleurs plus grands que ceux produits dans la voie.

En résumé, à la suite d'une série d'essais, la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée a adopté successivement les dispositions suivantes :

1° Remplacement de la chevillette et du crampon par le tire-fond ; ce dernier a été fabriqué en fer depuis 1875 jusqu'en 1882 ;

2° Emploi exclusif de l'acier doux, au lieu du fer, pour la fabrication du tire-fond, dès que le prix du métal fondu s'est rapproché sensiblement de celui du fer de bonne qualité ;

3° Emploi du filetage à chaud, à l'exclusion du filetage à froid, depuis 1882, c'est-à-dire depuis l'emploi de l'acier doux.

Le filetage à chaud se fait de deux façons : soit par forgeage entre des matrices de forme spéciale, soit par taraudage dans une machine à trois galets (1).

Par l'emploi du tire fond en acier, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a augmenté considérablement la résistance des attaches, aussi bien contre l'usure que contre les efforts d'écartement de la voie et les efforts de renversement des rails, et cela sans augmenter leur diamètre. Cette dernière considération est importante, car elle permet de conserver aux traverses toute leur résistance ; au contraire, le bois peut se fendre quand on fait usage de tire-fonds d'un diamètre supérieur à 20 millimètres.

Dimensions du tire-fond. — Le tire-fond adopté jusqu'à ce jour est au pas de 10 millimètres, avec filet triangulaire.

Il est procédé en ce moment à une nouvelle série d'essais ayant pour objet de rechercher s'il ne conviendrait pas de porter cette hauteur de pas à 12^{mm}5.

Comme le bois serait dans ce cas d'autant moins altéré par le filet, la résistance à l'arrachement normal serait augmentée. De plus, le nombre de spires étant moindre, on obtiendrait le vissage avec un nombre de tours moindre, c'est-à-dire plus rapidement. Il reste à savoir dans quelle mesure, en augmentant l'angle d'inclinaison de l'hélice du filet, on rend plus facile la transmission des efforts dus aux trépidations et aux vibrations qui tendent à faire sortir le tire-fond de son logement, alors qu'il ne sera plus aussi fortement coincé après un certain temps de pose. Un premier essai a permis de constater que l'effort nécessaire pour le déversement d'un rail fixé par deux tire-fond de ce nouveau modèle sur une selle, s'élève à 14,000 kilogrammes.

Le tire-fond a dans tous les cas 20 millimètres de diamètre à l'extérieur des filets et 14 millimètres au noyau dans la partie cylindrique. La tête, de 45 millimètres de diamètre, est en forme de goutte de suif ; en dessous, elle épouse l'inclinaison du patin du rail, soit un dixième (1/10).

(1) Pour le tire-fond en fer, le taraudage à chaud n'était possible qu'avec la machine à forger ; sous l'action de la machine à tarauder à chaud, à triple galet, les fibres sous-jacentes sont entraînées dans des conditions telles que le noyau de la tige devient creux sur une partie au moins de sa longueur.

Cette tête est surmontée d'un tronc de pyramide quadrangulaire qui permet le serrage au moyen d'une clé à bécaille avec douille.

L'emploi des éclisses-cornières entraîne deux modèles de tire-fond qui ne diffèrent que par la longueur de la tige. Le tire-fond le plus court est destiné à l'attache du rail sur les traverses intermédiaires munies de selles-arrêt ou de selles d'appui ; sa longueur sous tête est de 135 millimètres, dont 20 à 25 millimètres de partie lisse au collet.

Le tire-fond le plus long a une longueur totale sur la tête de 150 millimètres.

Conditions de résistance. — Dans le choix de l'acier pour tire-fond, on doit tenir compte de ce que la pièce doit présenter une certaine raideur pour combattre : 1° les efforts transversaux ; 2° la tendance à l'arrachement, et aussi 3° une certaine dureté pour résister à l'usure.

D'autre part, l'acier doit être assez doux et assez malléable pour se prêter au travail de matriçage de la tête et au filetage à chaud ou à froid ; de plus, il ne doit pas être sensible à l'action de la trempe, car, dans le cours de la fabrication, le métal est soumis à des refroidissements brusques.

La qualité qui répond le mieux à ces conditions multiples et contradictoires est, comme pour les boulons d'éclisses, l'acier doux caractérisé par les coefficients de résistance suivants :

| | |
|-------------------------------|---|
| Limite d'élasticité | 22 kilogrammes par millimètre carré de section. |
| Charge de rupture | 45 kilogrammes par millimètre carré de section. |
| Allongement | 18 à 22 p. c. |

II. — FABRICATION.

Il faut prendre certaines précautions dans la fabrication du tire-fond pour assurer les qualités nécessaires à un bon usage.

Procédés de fusion, lingots ; leurs dimensions et poids ; laminage, cisailage, fraisage des bouts, recuit. — L'acier pour tire-fond doit présenter les mêmes propriétés que celui déjà désigné pour les boulons d'éclisses ; les différentes phases de transformation, du moins en grande partie, étant les mêmes, il convient de se reporter à l'article relatif aux boulons d'éclisses en ce qui concerne les procédés de fusion, les lingots, le laminage, le cisailage des barres, le fraisage des bouts et le recuit des pièces.

Il reste à noter que par le travail du laminage, le corroyage du métal est représenté par les rapports :

$$\frac{40000}{314} = 127; \quad \frac{64000}{314} = 204 \text{ et même } \frac{65000}{314} = 207.$$

Ces rapports résultent de la différence de section entre le lingot et les barres rondes de 20 millimètres.

Étampage de la tête. — Pour le matriçage de la tête du tire fond, et contrairement à ce qui existe pour le frappe des boulons, l'étampe inférieure placée sur l'enclume du balancier à friction est cylindrique ; elle ne porte que la forme annulaire, avec inclinaison au dixième qui donne le dessous de la tête du tire-fond.

L'étampe supérieure, fixée à l'extrémité de la tige à vis du balancier, présente en creux l'empreinte de la tête, y compris la marque d'usine et le millésime de fabrication, qui doivent s'imprimer en relief.

Les soins à apporter au chauffage, à l'étampage et enfin au refroidissement lent des pièces, sont les mêmes que pour les boulons d'éclisses.

Filetage. — Le filetage des tiges de tire-fond est obtenu par des méthodes différentes, suivant les usines :

A. — Chez MM. Bouchacourt, Magnard et C^{ie}, le filetage à *chaud* s'effectue par forgeage entre deux étampes ou matrices qui présentent en creux la forme du noyau et celle des filets, suivant un développement hélicoïdal, sur deux à trois fois la hauteur du pas.

Dans ce mode de fabrication, la perfection du filetage dépend de l'habileté de l'ouvrier à manier la pièce entre les étampes en mouvement, qu'il doit d'ailleurs nettoyer fréquemment pour les débarrasser des battitures qui se déposent dans le creux des filets.

Par ce procédé, il se produit un certain corroyage du métal; mais les pièces obtenues ne sont pas toujours absolument cylindriques; les angles des filets sont, dans certains cas, légèrement arrondis; cependant les tire-fond sont toujours de bonne résistance, à la condition bien entendu que le chauffage soit bien conduit.

Lorsque les filets sont frappés à basse température, la résistance se trouve considérablement augmentée.

On sait que le laminage à froid augmente beaucoup la ténacité du métal.

B. — M. Faugier, à Lyon, emploie pour le filetage à *chaud* des tire-fonds, une machine à trois galets, qui produit le filet par une sorte de laminage de la tige. Cette fabrication donne des filets bien formés; le pas est régulier et le tire-fond acquiert un grand corroyage du fait du travail. Cette action a une influence heureuse sur la résistance des tire-fond dans les voies.

C. — Le filetage des tire-fond à *froid* est abandonné depuis plusieurs années pour les fournitures destinées à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée; il se faisait à la façon ordinaire, à l'aide de coussinets serrés entre les mors d'une machine à tarauder; la tête étant centrée sur le plateau de cette machine, la tige pénétrait en tournant dans les coussinets.

Avec l'acier, ce procédé exigeait beaucoup de soins dans l'entretien des coussinets pour obtenir un filetage précis; il faut qu'il coupe bien, afin de réduire le plus possible le déplacement angulaire des fibres sous l'action de l'effort de torsion exercé par le taraudage. Il exigeait d'ailleurs l'emploi d'acier d'une qualité spéciale; le métal devait être, en effet, assez doux pour ne pas user trop rapidement l'outillage et présenter assez de raideur : 1^o pour être coupé facilement; 2^o pour ne pas empâter les coussinets; et 3^o pour éviter l'arrachement des filets lorsque le taillant commence à s'émousser.

Le tire-fond, pendant le filetage, était plongé dans un bain d'huile ou d'eau de savon.

Dans les deux méthodes de filetage à *chaud* actuellement en usage, le déchet est nul ou à peu près, et la tige s'allonge au fur et à mesure de la formation du filet; lorsqu'on découpe les barres rondes de 20 millimètres de diamètre, on doit couper les tiges au poids de la pièce finie, en tenant compte pourtant du déchet de forge produit à l'étampage de la tête et au filetage; ce déchet est fort limité dans ce cas.

Lorsqu'au contraire le taraudage était fait à froid, le déchet était considérable (24 à 25 p. c.), l'outil devant enlever tout le métal compris entre les filets.

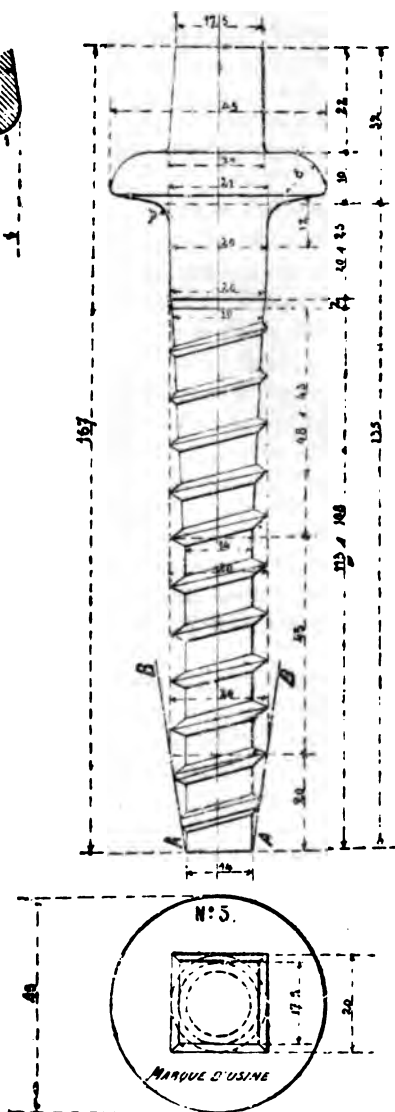
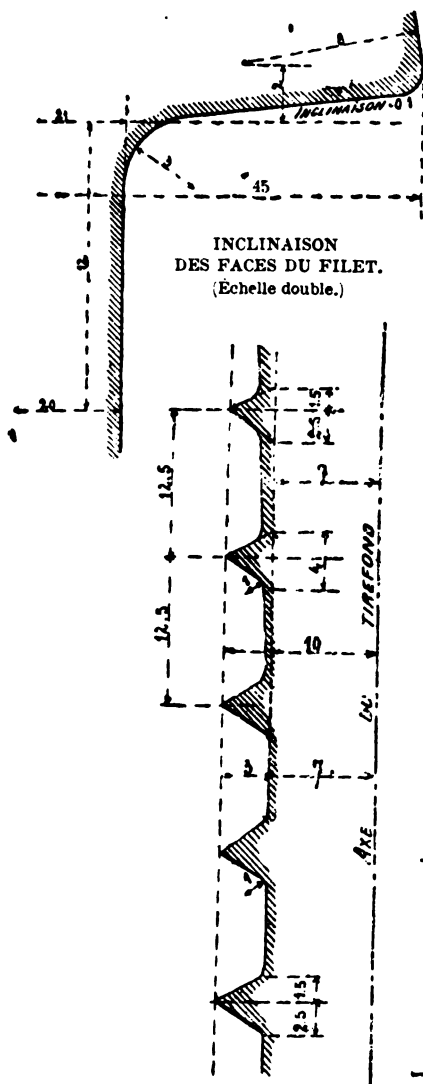
Fraisure des tire-fond à l'extrémité. — Les tire-fond sont ensuite fraisés à l'extrémité, au moyen d'une machine spéciale dont les lames sont inclinées de manière à couper le métal dans cette partie suivant un tronc de cône, ce qui facilite la mise en place de ces tire-fond.

Goudronnage. — Afin de protéger les tire-fond contre l'oxydation, oxydation qui nuit à leur conservation et à celle des traverses, on les enduit d'une couche de goudron, en les plongeant, encore rouges, dans un bain préalablement chauffé. De cette manière, les surfaces et les filets



On ajoute au goudron du pétrole en certaine proportion, pour obtenir un séchage rapide et donner aux pièces un aspect brillant.

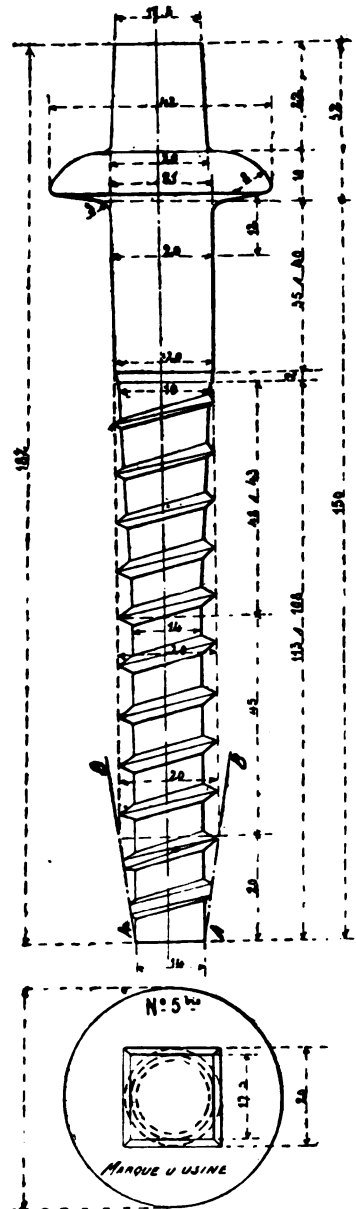
TÊTE DU TIRE-FOND.
(Echelle quintuple.)



Poids = 0 k.390

La partie inférieure est chanfreinée suivant la ligne A-B.

TÊTE DU TIRE-FOND.
(Échelle quintuple.)



Poids = 0 k.430.

La partie inférieure est chanfreinée suivant la ligne A-B.

Résultats des essais spéciaux faits sur les tire-fond en acier, modèle PM, filetés à chaud.

| DES USINES ET DES PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR LE FILETAGE A CHAUD. | DÉSIGNATION DES LIMITES DE VARIATION | Épreuves par traction des tire-fond dans le laminé en barres rondes de 20 millimètres de dia- mètre. | | | | Épreuves par traction des tire-fond dans. Section considérée, celle du noyau. Longueur utile, 50 milli- mètres. | | | | Épreuves par arrachement des tire-fond visés dans du chêne. | | Épreuves par arrachement du rail fixé sur chêne, par deux tire-fond, avec interposition d'une soie d'appui à 2 talons. | | Épreuves d'inflechissement du tire-fond visé dans une traverse en chêne, en travers une soie d'appui à 2 talons. | | | | | | | |
|---|---|---|---|--------------------------------------|---------------------------|---|--|-------|---------|--|--------|---|--------|--|--------|--------|--|--|--|--|--|
| | | Éprouvettes de 13-8 de diamètre et de 100 millimètres de longueur utile tournées dans les barres d'acier. | Charge limite d'élasticité par section. | Charge de rupture par section. | Allongement pour cent. | Charge limite d'élasticité par millimètre carré de section du noyau. | Charge de rupture par millimètre carré. Charge de rupture sur 50 milli- mètres de longueur utile. | P. e. | Millim. | Kilog. | Kilog. | Kilog. | Kilog. | Kilog. | Kilog. | Kilog. | | | | | |
| Usine A. (Filetage par forgeage) | Maximum. | 31.6 | 48.6 | 32.0 | 30.0 | 48.5 | 18.0 | 36.0 | 5,600 | un arrachement de 5 millimètres des 2 tire-fond. l'échappement du rail en dehors des tire-fond. | 6,400 | 7,600 | 3,000 | 3,400 | | | | | | | |
| | Minimum. | 29.3 | 46.3 | 28.0 | 29.5 | 46.0 | 10.0 | 20.0 | 5,000 | | | | | | 1,200 | | | | | | |
| | Moyenne. | 30.3 | 47.0 | 29.5 | 29.7 | 46.8 | 13.6 | 27.2 | 5,225 | | | | | | | | | | | | |
| | | 31.9 | 49.4 | 36.0 | 29.8 | 51.9 | 15.5 | 31.0 | 5,200 | | | | | | | | | | | | |
| Usine B. (Filetage par laminage) | Maximum. | 26.7 | 44.0 | 28.0 | 27.2 | 43.8 | 9.0 | 18.0 | 5,000 | un arrachement de 5 millimètres des 2 tire-fond. l'échappement du rail en dehors des tire-fond. | 6,400 | 7,600 | 4,150 | 2,400 | 3,000 | | | | | | |
| | Minimum. | 28.7 | 45.5 | 33.4 | 28.4 | 47.5 | 11.9 | 23.7 | 5,100 | | | | | | | | | | | | |
| | Moyenne. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

III. — ÉPREUVES.

La qualité de l'acier nécessaire à la fabrication des tire-fond est constatée par des essais en forge; de même, par des épreuves sur les pièces, on constate que le travail de transformation n'a pas dénaturé le métal employé, et que les conditions de résistance exigées en service sont obtenues.

1° *Épreuves de l'acier employé dans la fabrication.*

Épreuve par traction. — Les barrettes d'essais sont tournées dans les barres brutes, au diamètre de 13^{mm}8 et sur 100 millimètres de longueur utile.

L'examen du tableau montre que le métal fourni par les différentes usines donne, dans cette épreuve, les résultats suivants :

1° La limite d'élasticité varie, en moyenne, de 26 à 30 kilogrammes par millimètre carré de section; elle n'est jamais inférieure à 24 kilogrammes ni supérieure à 34 kilogrammes; ce dernier chiffre n'est atteint qu'exceptionnellement;

2° La charge moyenne de rupture est comprise entre 44 et 49 kilogrammes par millimètre carré; exceptionnellement, elle monte à près de 55 kilogrammes, sans jamais descendre au-dessous de 41 kilogrammes;

3° L'allongement est, en moyenne, de 24 à 34 p. c.; il varie par exception entre les limites de 18 à 40 p. c.

Épreuve de pliage des barres lisses. — Sous forme de barres laminées à 20 millimètres de diamètre, l'acier subit à froid, sans criques ni gerçures, un pliage à 90° suivi d'un redressement.

On obtient jusqu'à 12 et 14 pliages à 90°, moitié dans un sens et moitié dans le sens opposé, suivis d'autant de redressements, avant d'avoir un commencement de rupture.

Ces résultats caractérisent un métal doux, tenace et d'une grande malléabilité à froid, présentant les qualités nécessaires pour le frappe des têtes et le taraudage à chaud.

2° *Épreuves des tire-fond finis.*

Épreuve par traction. — Les tire-fond sont vissés dans un bloc de métal de manière à laisser, entre celui-ci et la limite du filetage, une longueur d'environ 50 millimètres.

On remarque que dans ces conditions, sous un effort de traction :

1° La limite d'élasticité varie de 28 à 30 kilogrammes par millimètre carré en moyenne;

2° La charge de rupture est, en moyenne, de 47 à 54 kilogrammes par millimètre carré de section; cette charge de rupture varie par exception entre 44 et 58 kilogrammes;

3° L'allongement moyen est encore de 24 à 27 p. c.; il ne descend pas au-dessous de 18 p. c. et atteint parfois jusqu'à 36 p. c.

Épreuve de pliage de la tige filetée. — Le tire fond étant encastré dans un bloc de fonte à bords arrondis, jusqu'à moitié de la longueur de filetage, il subit, sans détérioration appréciable, un pliage à froid à 45°, suivi d'un redressement.

En fait, les pièces subissent facilement cette épreuve, malgré l'angle rentrant presque vif, formé par le noyau et le filet; si cet essai est opéré à l'aide d'un levier à douille prenant la tête

du tire-fond, on trouve que dans certains cas le commencement de rupture ne se produit qu'après 4 pliages à 45°, 2 dans un sens et 2 dans le sens opposé, et 3 redressements.

Épreuve de pliage de la tête. — Le tire-fond est entré dans le même bloc que ci-dessus, mais de manière à dépasser de 12 à 15 millimètres sous le collet.

Dans la pratique, on constate que, dans tous les cas, on fait prendre à la tête, à coups de marteau, une inclinaison de 45° au moins, sur la tige, sans qu'il se manifeste aucune fente sous la tête, au collet.

De ces essais sur les tire-fond finis, il résulte que le filetage à chaud, surtout celui par forgeage comme dans l'usine B, a la propriété d'augmenter la résistance de la pièce (ceci résulte de l'élévation des charges à la limite d'élasticité et à la rupture), sans nuire pourtant à sa solidité, comme l'indique la malléabilité caractérisée par l'allongement et par le pliage à froid dans la partie filetée.

On constate enfin que l'étampage de la tête ne dénature pas la qualité de l'acier employé, et que la trempe est sans action.

ESSAIS SPÉCIAUX.

Efforts exercés sur les tire-fond dans les voies. — En dehors des essais réglementaires faits au cours des fabrications, on a déterminé par une série d'essais spéciaux, dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessus, quelle est la résistance des tire-fonds aux efforts divers d'arrachement et de cisaillement qu'ils subissent dans les voies.

Ces essais spéciaux sont les suivants :

a) *Épreuve par traction sur l'acier employé.* — On a déterminé les coefficients de résistance élastique et à la rupture, ainsi que l'allongement de l'acier laminé au diamètre de 20 millimètres ; ces coefficients sont les suivants :

| | Usine A. | Usine B. |
|--|-------------------|-------------------|
| Limite d'élasticité par millimètre carré | 30 ¹ 3 | 28 ¹ 7 |
| Charge de rupture par millimètre carré | 47 ¹ 0 | 45 ¹ 5 |
| Allongement pour cent. | 29.5 | 33.4 p. c. |

b) *Épreuve par traction sur les tire-fond finis.* — Après étampage des têtes, et filetage :

Par forgeage dans l'usine A,

Par laminage dans l'usine B,

ces coefficients deviennent :

| | Usine A. | Usine B. |
|---|--------------------|--------------------|
| Limite d'élasticité par millimètre carré | 29 ¹ 7 | 28 ¹ 4 |
| Charge de rupture par millimètre carré | 46 ¹ 8 | 47 ¹ 5 |
| Allongement sur 50 millimètres de longueur considérée | 13 ^{mm} 6 | 11 ^{mm} 9 |
| Allongement pour cent | 27.2 p. c. | 23.7 p. c. |

c) *Épreuve d'arrachement du tire-fond vissé dans le chêne.* — Ainsi qu'il a été dit ci-dessus, le tire-fond vissé dans le chêne, le trou étant percé dans le bois à l'aide d'une tarière de 14 millimètres de diamètre, a exigé, pour être arraché de 5 millimètres, les efforts de traction variables entre 5,100 et 5,225 kilogrammes.

d) *Épreuve d'arrachement du rail fixé sur la traverse.* — Le rail repose sur la traverse

en chêne par l'intermédiaire d'une selle d'appui à talons; il est fixé par deux tire-fond; les trous sont percés, comme précédemment, avec une tarière de 14 millimètres.

La traverse étant maintenue d'une manière fixe, si l'on exerce un effort de traction sur le rail, par le champignon, suivant son axe vertical, on trouve que :

1° L'effort nécessaire pour arracher les tire-fond de 5 millimètres, est de 6,400 kilogrammes;

2° Sous celui de 7,600 kilogrammes, le rail échappe de la selle après avoir déformé les têtes des deux tire-fond.

Épreuve d'infléchissement sous les efforts transversaux. — Dans cette épreuve, le tire-fond est vissé dans une traverse en chêne percée comme ci-dessus, en prenant par le trou d'une selle à talons; on laisse une distance de 20 millimètres entre la face de la selle et le point d'application de l'effort sur la tête du tire-fond. L'effort de traction étant exercé normalement à l'arête du talon, de manière à infléchir la tête du tire-fond en dehors, on trouve que les charges nécessaires pour produire les flexions suivant les angles ci-après, sont de :

| | Pour le tire-fond de l'usine A. | Pour le tire-fond de l'usine B. |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Angle de 1° (limite de résistance à la déformation) . . . | 1,200 kilog. | 1,150 kilog. |
| — de 15°. | 3,000 — | 2,400 — |
| — de 37°. | 3,400 — | 3,000 — |

Ces résultats montrent que le tire fond présente toute sécurité quant à l'emploi sur la voie.

IV. — Résumé.

En résumé, l'acier le plus convenable pour la fabrication des tire-fond modèle P.M., est l'acier doux choisi déjà pour la fabrication des tiges de boulons d'éclisses.

Épreuves. — Il doit donc présenter les mêmes conditions de résistance, de ténacité, de malléabilité et répondre aux mêmes épreuves sous forme de barres laminées à 20 millimètres de diamètre, aussi bien que sous forme de pièces finies.

Fabrication. — De même, la fabrication avec ce métal, dont la composition chimique moyenne est la suivante :

| | |
|--------------------|-----------------|
| Carbone | 0.2 à 0.3 p. c. |
| Manganèse. | 0.5 à 0.6 — |
| Soufre | Traces. |
| Phosphore. | 0.05 à 0.07 — |

nécessite les mêmes soins que ceux exigés pour la fabrication des boulons, en ce qui concerne les procédés de fusion, les dimensions des lingots, le laminage, le cisailage et le fraisage des bouts, l'étampage des têtes et le recuit.

Le filetage à froid doit être abandonné et se faire exclusivement à chaud, par forgeage ou par laminage, suivant la méthode employée par l'usine.

La fraisure de l'extrémité doit être faite sous un angle suffisant pour assurer la pénétration facile du tire-fond dans les traverses

Enfin, pour que la couche de goudron n'empâte pas les filets, qu'elle soit lisse et brillante, qu'elle sèche rapidement, les tire-fonds ainsi que le bain doivent être amenés à une certaine température avant leur immersion, et il est bon d'ajouter au bain du pétrole en minime proportion.

V. — CONCLUSION.

Les épreuves comparatives dont le détail a été donné ci-dessus permettent d'établir :

- 1° Que le tire-fond en acier doux doit être employé de préférence au tire-fond en fer;
- 3° Que le tire-fond doit être taraudé à chaud;
- 2° Que le diamètre de la tige du tire-fond, sous le collet, doit être limité à 20 millimètres.

Paris, le 15 juin 1889.

2^e NOTE

Par M. WERCHOVSKY

**CONSEILLER D'ÉTAT ACTUEL AU MINISTÈRE DES VOIES ET COMMUNICATIONS DE L'EMPIRE DE RUSSIE,
INGÉNIEUR, INSPECTEUR EN CHEF DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER**

PLANCHE I

Les études de la Société technique Impériale Russe sur la nature de l'acier pour rails de chemins de fer.

Le réseau des chemins de fer russes atteint à présent environ 34,000 kilomètres, sans compter les lignes du grand-duché de Finlande qui sont soumises à l'Administration spéciale de ce pays.

Le remplacement des rails en fer par des rails en acier a été commencé en Russie en 1867, et les premières commandes de ces rails furent faites par la ligne Nicolas (Petersbourg-Moscou) à la Compagnie anglaise John Brown. Depuis lors, les grosses commandes de rails en acier, tant pour les lignes exploitées que pour les lignes en construction, ont été en augmentant d'une année à l'autre; elles étaient jusque l'année 1875 toutes livrées par les usines étrangères. En 1875 fut fondée à Saint-Petersbourg, avec subvention de l'État, l'usine Poutiloff, qui reçut la première commande de 4 millions de pouds (= 656,000 tonnes) de rails en acier. Entre 1875 et 1878 suivirent quelques lois, dont le but était d'introduire en Russie la fabrication des rails en acier et bientôt furent fondées huit autres usines dont deux à Saint-Petersbourg, deux en Pologne, deux dans l'Oural, une à Briansk (gouvernement d'Orel) et une au sud, fondée par J. Hughes (décédé dernièrement), de sorte que les commandes à l'étranger devinrent plus rares et, qu'en 1882, cessèrent tout à fait.

Le côté économique de l'affaire était tout à fait assuré, puisque les huit usines nouvellement fondées répondaient aux besoins des lignes en exploitation et de celles en construction; quant au côté technique, il fallait trouver une composition d'acier pouvant supporter le climat de la Russie, car on craignait que les rails en acier ne fussent trop cassants, par suite de la nature même du métal et de la variable et parfois très basse température du climat. Cette crainte, existant plus ou moins dans tous les pays, était d'autant plus naturelle en Russie, dont le climat rigou-

reux forçait les ingénieurs russes à y porter la plus grande attention, car si les grands froids surpassant 20° C. au-dessous du zéro ne sont pas inconnus pendant l'hiver dans l'Europe occidentale, les variations de la température ainsi que les écarts entre la chaleur de l'été et les froids de l'hiver, par suite d'un climat continental, ont en Russie beaucoup plus d'étendue qu'ailleurs. Tandis qu'à l'est de la Russie les gelées surpassent, ne fût-ce même que pour peu de temps, — 40° C., la chaleur en été monte jusqu'à 50° C. au soleil et même plus, la variation de température pouvant être ainsi exprimé par 100° C., ce qui explique pourquoi, concernant la fabrication des rails en acier, l'Administration russe faisait tout son possible pour que les rails ne fussent pas cassants.

Au mois de mars 1878, un cahier de charges relatif aux rails, obligatoire pour tous les chemins de fer, fut approuvé par le ministère des voies et communications; l'article principal était un essai au choc d'un mouton de 30 pouds ($1\frac{1}{2}$ tonne) tombant d'une hauteur de 7-9 pieds, la portée étant 3 $1\frac{1}{2}$ pieds.

L'épreuve russe au choc diffère des épreuves semblables dans les autres pays en ce que l'on abaisse la température du rail éprouvé à -15° C., en le plaçant dans une boîte contenant de la glace ou de la neige avec du sel. Comme épreuve complémentaire on désignait l'épreuve à la pression avec la flèche maxima de 2 millimètres et minima de 3 millimètres, — épreuve ayant pour but d'éloigner l'acier quelque peu dur.

L'épreuve à la rupture et l'analyse chimique étaient supprimées.

La conséquence d'un tel cahier des charges fut que les usines russes firent tout leur possible pour obtenir l'acier le plus doux, afin d'être sûres que les rails gelés supporteraient les coups du mouton.

En effet, depuis 1879, il arrivait très rarement que les rails ne supportassent pas l'épreuve au choc, mais quand les rails fabriqués d'après le cahier des charges de 1878, furent mis en service, tandis que les cas de rupture disparaissaient presque, un nouveau défaut tout à fait opposé survint : c'est qu'après quelques mois de service, on remarquait déjà un foulage du bourrelet qui, augmentant rapidement, rendait le remplacement bientôt nécessaire.

Cette circonstance attira l'attention du ministère des voies et communications, qui la fit examiner dans une conférence particulière en 1881. En même temps la Société impériale technique russe s'en occupa aussi, de sorte qu'en 1882, la même question fut examinée à Moscou par les membres de ladite société pendant l'exposition technique; mais comme on n'avait pas de bases pour affirmer que le foulage venait de ce que les rails étaient trop doux, tous ces efforts furent sans résultat.

Pour éclaircir cette question, la Société technique eut enfin l'idée de former une commission ⁽¹⁾ spéciale dont la tâche désignée était de chercher la dépendance existant entre la durée du service des rails et la qualité de l'acier. La méthode que cette commission avait adoptée pour ses recherches ressemblait beaucoup à celles des mêmes recherches faites en 1880 par Dudley au chemin de fer de Pensylvanie. Ainsi on prit des chemins de fer 150 pièces de barres de rails, dont une partie parmi ceux qui avaient servi longtemps sans avarie et l'autre parmi ceux qui, après un court service, s'étaient cassés ou avaient subi une déformation. On observait pour chaque barre : 1^o le type du rail; 2^o si elle était exposée à un freinage faible, moyen ou fort? 3^o dans quelles conditions se trouvait la barre sur la voie par rapport à la pente? 4^o le tonnage brut et 5^o le

(1) Cette commission était composée comme suit : président : ingénieur Werchowsky; membres : ingénieurs professeurs N. Beieloubsky, L. Nocolai, A. Schulatschenko, N. Jossa, professeur W. Kirpitschen, ingénieurs W. Bek-Guerjard, A. Guibschmann, M. Sendzikowsky, M. Miretzky. MM. A. Foicht et G. Feodosien; membre-secrétaire : ingénieur M. Anitchkov.

nombre de mois de service avant que le rail fût enlevé. On soumit ensuite ces barres de rails aux épreuves et analyses suivantes :

1° L'épreuve à la pression (flexion) et l'épreuve au choc du mouton, en baissant la température de la barre d'après la spécification de 1878;

2° Essai à la rupture;

3° En tordant les éprouvettes sur l'appareil de Thursden;

4° Analyse chimique pour la teneur en carbone, en manganèse, en silicium et en phosphore.

Lorsque ces essais furent terminés, on en fit un tableau avec tous les renseignements reçus des chemins de fer et des usines sur le service des rails, et ces tableaux montrèrent une telle différence dans les résultats obtenus et une telle quantité de chiffres dont il était difficile de déduire quelque chose que pour faciliter l'étude de ces résultats, la Commission trouva nécessaire de les exprimer graphiquement. Pour cela, tous les numéros des échantillons des rails furent classés dans l'ordre de leurs qualités et des résultats obtenus, dont le montant fut représenté sur le graphique par des lignes verticales de hauteur correspondante. Ainsi étaient construites des courbes selon l'accroissement de la résistance à la rupture, de la résistance vive pendant la torsion, du tonnage, de la flèche sous le coup du mouton, de l'augmentation de la quantité du carbone, du manganèse, du silicium et du phosphore.

Ces graphiques ne donnèrent pas cependant le matériel nécessaire aux études; ils n'étaient pas moins compliqués que les tableaux ordinaires, de sorte qu'on dût chercher les chiffres moyens de ces différentes combinaisons, travail auquel la Commission procéda de la manière suivante :

Toutes les barres étaient classées de sorte que le premier rang était occupé par celles qui avaient supporté les plus grands poids et avaient servi durant le plus d'années, le second, par celles qui avaient supporté moins et ainsi de suite. De 107 barres ainsi classées, on avait choisi un groupe des meilleures et un groupe des plus mauvaises, et ce dernier était partagé en deux parties : l'une contenait les barres provenant des rails qui avaient le moins servi et supporté le poids le plus léger en se cassant tout de même et l'autre comprenait les barres de rails qui, n'ayant subi aucune cassure, avaient cependant été mises hors de service pour cause de fouflage, ce qui constatait visiblement leur fragilité. Les chiffres moyens qu'on avait reçus des groupes désignés permirent de comparer les éléments moyens des rails meilleurs qui avaient servi le plus grand nombre de mois et supporté les plus grands poids avec ceux qui avaient servi le moins, laissant constater différents défauts. Outre cela, la Commission étudia la question d'une autre manière, notamment : du nombre des 107 barres étaient supprimées 40, appartenant aux rails mis hors du service sans qu'aucun défaut y fût signalé; les 67 restantes, classées de façon indiquée précédemment d'après différents éléments, étaient divisées en plusieurs groupes, pour chacun desquels on avait calculé le nombre moyen de mois de service et le pour-cent moyen des barres non cassées. Les meilleurs groupes devaient ainsi renfermer les barres ayant servi le plus longtemps, quant aux rails dont les numéros se retrouvaient le plus souvent dans les meilleurs groupes, on les supposait meilleures. Il est à signaler que dans cette dernière combinaison n'entraient pas les 40 barres qui, par hasard, avaient donné les meilleurs résultats, de sorte que les rails trouvés par cette combinaison comme meilleurs, l'étaient seulement par rapport à ces 67.

Les résultats donnés par toutes ces combinaisons sont inscrits dans les tableaux ci-joints.

Le tableau A contient les meilleurs rails ayant supporté le plus grand poids brut du trafic.

Le tableau E contient les rails dont les bonnes qualités n'avaient pas été indiquées *a priori*, mais étaient ressorties au moyen des combinaisons précédentes.

Le tableau *B* contient les rails qui, ayant supporté le moindre tonnage, et ayant servi le moins longtemps, ont été mis hors de service à cause des bris.

Dans le tableau *C* sont réunis les rails qui avaient été enlevés de la voie par suite de foulage, d'usure et de différents défauts, attribués à la mollesse de leur constitution.

Dans les tableaux *K* et *L* les rails sont classés par usine, de telle manière que le tableau *K* contient tous les échantillons et le tableau *L*, seulement ceux qui à l'épreuve à la rupture (par traction) ont donné un allongement d'au moins 10 p. c., c'est-à-dire qu'on avait supprimé les échantillons trop durs.

Enfin, dans un tableau général *M* se trouvent tous les résultats moyens généraux.

L'examen de tous ces tableaux a démontré à la Commission que les rails qui avaient servi le plus longtemps et qui doivent être considérés comme les meilleurs parmi les échantillons livrés à l'épreuve, c'est-à-dire les rails du tableau *A*, correspondent à une plus grande résistance à la rupture, aux moindres allongement et serrement que les autres, tandis que les rails du tableau *B*, qui ont servi le moins et ont été enlevés de la voie par suite de bris, c'est-à-dire ceux qu'on devait compter comme fragiles, dangereux et trop durs, se distinguent, au contraire, comme étant beaucoup plus doux que les précédents.

De ce qui précède, la Commission est arrivée à la conclusion qu'entre la dureté et la fragilité des rails il y a une différence et que la crainte des rails fragiles ne doit pas conduire à éviter les rails durs.

Quant à la composition chimique, les meilleurs rails contiennent plus de carbone, plus de manganèse que les rails fragiles, moins de manganèse que les rails, doux et en tout cas beaucoup plus de silicium et beaucoup moins de phosphore, de sorte que les rails doux contiennent 0.19 p. c. de phosphore, les rails fragiles 0.18 p. c. et les meilleurs rails 0.10 à 0.11 p. c.

Le rapport du manganèse au carbone (plus de 2) pour les rails fragiles est moindre que le rapport correspondant pour les rails doux (plus de 3); de même le rapport entre le phosphore et le silicium (1 1/2) pour les rails fragiles est beaucoup moindre que le rapport correspondant (4) pour les rails doux.

Si parmi les échantillons mis à l'épreuve d'après les tableaux *K*, *L* et *M* et le tableau graphique de la planche LVII, on compare les rails russes à ceux de provenance anglaise et allemande, on trouve que les rails russes ont supporté un tonnage brut beaucoup moindre que les autres et qu'en même temps ils ont la moindre résistance à la rupture, plus d'allongement, plus de serrement, moins de carbone et beaucoup plus de phosphore que les rails de provenance anglaise et même allemande.

En faisant déduction de tout cela, la commission a conclu qu'il n'y a pas de raison de craindre les rails durs et qu'au contraire on doit donner aux rails plus de dureté sans les rendre cassants, ces deux propriétés pouvant très bien n'être pas réunies.

Quoique les résultats des études mentionnées fussent loin d'amener à un moyen positif pour la confection des rails les plus durables au service, vu l'existence de beaucoup d'autres facteurs inconnus, agissant lors de la fabrication des rails et de l'acier même et se trouvant en dépendance de conditions très compliquées, tout de même, grâce à ces résultats, on voit disparaître en Russie la crainte d'employer pour les rails un acier plus dur.

Le ministère des voies et communications lui-même trouva possible de faire des changements dans le cahier des charges de 1878 pour éloigner la mollesse superflue des rails. Ainsi, dans le nouveau cahier des charges de 1887, on supprima le minimum de la flèche élastique à l'épreuve à la pression; quant à la flèche permanente maxima dans les limites de l'élasticité on la diminua de 2 à 1 millimètre.

Malgré l'insignifiance apparente de tels changements, le fait seul de la tendance vers un acier plus dur a eu pour résultat que les rails fabriqués depuis en Russie se distinguent des précédents par une qualité beaucoup meilleure.

Toutes ces études ont été faites sur des barres de rails enlevés de la voie, après avoir servi plus ou moins de temps. Afin de vérifier les résultats obtenus et rendre plus définis les chiffres de ces résultats, la Société impériale technique entreprend présentement, à l'aide de la même commission, de nouvelles études en suivant une méthode opposée. D'après le programme tracé, on prendra cette fois des rails tout neufs dont la composition chimique et les propriétés mécaniques seront connues d'avance, et on les posera sur la voie pour contrôler leur service par rapport à la rupture et à l'usure.

En vue de ces études, six usines russes ont fourni chacune 30 rails, trois séries par dix pièces différentes ; des rails d'un acier doux, d'un acier de dureté moyenne et d'un acier dur. Chacun de ces rails sera divisé en deux parties, dont l'une, longue de 15 à 18 pieds, sera posée sur la voie ; des mesures seront prises pour la comptabilité du tonnage brut sur ces rails ainsi que pour la détermination de la perte de leurs poids et de l'usure de leurs sections transversales ; dans ce dernier cas, les mesures seront faites avec les appareils Kraft, Politzer et Bruggemann.

L'autre partie du rail servira pour des épreuves : à la rupture, au choc, à la pression, à la trempe et pour l'analyse chimique. Ces 180 rails seront du même type, ce qui paraît devoir servir à rendre les résultats comparatifs plus définis, et donne à espérer de faire un pas de plus en avant vers la définition de la nature de l'acier devant être employé pour fabriquer les rails les plus durables.

Saint-Petersbourg, le 22 juillet, 3 août 1889.

Tableau

| NUMÉROS DES BARRES. | Épreuve à la pression (flexion). Flèche en milli- mètres. | | Essai au choc (montant de 30 pouds). Flèche en millim. | R. Résistance à la rupture en kilogr. (Millim.) | l. Allongement par pour cent. | c. Rétrécissement en pour cent. | Produit de Rl. | Total. R + c. | Résistance vive à la torsion. | C. Teneur en carbone. |
|--|---|------------------|---|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|
| | Élas- tique. | Perma- nente. | | | | | | | | |
| 11 | 3.50 | 0.00 | 21 | 73.10 | 18.4 | 42.6 | 1345 | 115.8 | 42.44 | 0.340 |
| 12 | 3.55 | 0.05 | 26 | 59.84 | 19.1 | 36.5 | 1143 | 96.3 | 34.18 | 0.420 |
| 7 x | 4.00 | 0.20 | 26 | 66.26 | 18.5 | 35.00 | 1226 | 101.3 | 32.07 | 0.300 |
| 10 | 3.55 | 0.00 | 22 | 66.83 | 7.2 | 6.20 | 481 | 73.0 | 14.37 | 0.350 |
| 8 x | 3.90 | 0.15 | x | 72.38 | 12.0 | 31.20 | 869 | 103.6 | 27.88 | 0.292 |
| 6 x | 4.00 | 0.00 | 27 | 63.28 | 26.00 | 42.00 | 1645 | 105.3 | 31.47 | 0.250 |
| Moyenne . . . | 3.75 | 0.13 | 24.4 | 66.96 | 17.03 | 32.25 | 1118 | 99.2 | 33.40 | 0.31 |
| Sans le n° 10 | 3.79 | 0.13 | 25.0 | 66.97 | 19.00 | 36.46 | 1245.6 | 104.4 | 33.60 | 0.28 |
| Limites | 3.50 4.00 | 0.00 0.2 | 22 27 | 59.84 73.1 | 7.2 26.0 | 6.2 42.6 | 481 1645 | 73 115.8 | 14.37 42.44 | 0.20 0.41 |
| 5 x | 4.10 | 0.20 | 30 | 64.11 63.29 | 22.3 19.5 | 43.8 46.6 | 1430 1234 | 107.9 109.3 | 30.56 | 0.200 |
| 121 | 4.50 | 0.70 | 30 | 69.16 | 10.8 | 35.3 | 747 | 104.5 | 24.20 | 0.31 |
| 122 | 4.70 | 0.75 | 32 | 64.50 | 16.7 | 33.9 | 1077 | 98.4 | 31.91 | 0.33 |
| 80 | 3.65 | 0.05 | 28 | 58.67 | 18.2 | 40.2 | 1068 | 98.9 | 33.01 | 0.270 |
| 81 | 3.40 | 0.00 | 25 | 65.28 | 19.6 | 41.4 | 1279 | 106.7 | 38.72 | 0.350 |
| 22 | 4.15 | 0.15 | x | 61.21 | 4.1 | 7.6 | 251 | 68.8 | 20.57 | 0.260 |
| Moyenne . . . | 4.08 | 0.37 | 29 | 63.76 | 15.88 | 35.54 | 1012.2 | 99.21 | 29.82 | 0.31 |
| Sans le n° 22 | 4.09 | 0.36 | 29 | 64.16 | 17.85 | 40.2 | 1139.1 | 104.28 | 31.66 | 0.30 |
| Limites | 3.40 4.70 | 0.00 0.75 | 25.0 32 | 58.67 69.16 | 4.10 22.30 | 7.6 46.6 | 251.00 1430 | 68.8 109.9 | 20.57 38.72 | 0.26 0.36 |
| Moyenne sans n° 10 et 22 . . . | 3.94 | 0.245 | 27.2 | 65.43 | 18.37 | 38.5 | 1190.6 | 104.23 | 32.63 | 0.29 |
| Moyenne des moyennes | 3.91 | 0.24 | 26.7 | 65.35 | 16.15 | 33.80 | 1065.1 | 99.20 | 30.11 | 0.31 |
| 98 | 5.40 | 1.10 | 40 | 59.06 | 12.2 | 42.6 | 721 | 101.7 | — | 0.290 |
| 132 | 4.75 | 0.65 | 33 | 70.39 | 13.2 | 19.1 | 929 | 90.5 | 16.49 | 0.42 |
| 134 | 4.40 | 0.60 | 29 | 67.33 | 18.2 | 40.1 | 1225 | 116.4 | 23.62 | 0.39 |
| 135 | 6.05 | 2.35 | 35 | 61.39 | 18.2 | 48.3 | 1117 | 109.7 | 26.60 | 0.22 |
| 117 | 4.40 | 0.35 | 33 | 60.62 | 21.0 | 48.3 | 1273 | 108.9 | 16.06 | 0.39 |
| 116 | 4.65 | 0.25 | 30 | 73.45 | 17.0 | 44.7 | 1249 | 118.2 | 20.94 | 0.47 |
| Moyenne . . . | 5.04 | 0.88 | 33.3 | 65.37 | 16.6 | 42.1 | 1085.00 | 107.4 | 22.64 | 0.36 |
| Limites | 4.40 6.55 | 0.25 2.35 | 29.00 40.00 | 59.06 73.45 | 12.2 21.0 | 19.1 49.1 | 721.00 1249.00 | 80.5 118.2 | 16.05 20.94 | 0.22 0.47 |
| Moyenne des moyennes sans les n° 10 et 22 | 4.35 | 0.54 | 29.05 | 65.41 | 17.74 | 39.77 | 1151.31 | 105.41 | 28.88 | 0.30 |
| Moyenne des moyennes | 4.29 | 0.45 | 28.9 | 65.36 | 16.50 | 36.63 | 1071.7 | 101.9 | 27.62 | 0.32 |
| Limites moyennes | 3.40 6.65 | 0.00 2.35 | 22 40 | 58.67 73.45 | 4.1 26.0 | 6.2 49.1 | 251 1645 | 68.8 118.2 | 14.37 42.44 | 0.20 0.47 |

NOTA. — 1. Des douze premières barres, huit étaient ôtées du chemin sans avarie, et les quatre autres marquées (x) étaient avariées après un long service, le poids supporté par elles étant inconnu.
2. Dans ce tableau, les barres sont classées d'une telle manière que leur bonne qualité se diminue du haut en bas.

s rails.

| Teneur en silicium. | P _h . Teneur en phosphore. | Total Si + P _h . | Nombre des mois du service des rails. | Tonnage en 1,000 pouds. | Type des rails. Poids par pied courant en livres russes. | Fente. | Emploi des freins. | NOMS des CHEMINS DE FER. | NOM DE L'USINE ET ANNÉE DE FABRICATION. |
|------------------------|---|--------------------------------|---|-------------------------------|---|--------|-----------------------|--------------------------------|---|
| .5491 | 0.1390 | 0.6881 | 86 | 1 175000 | 21 2/3 | 9 | Fort. | Rib.-Bolog. | Gut. Hof. Hôt., 1875. |
| .0918 | 0.0793 | 0.1711 | 85 | 1.169000 | 21 2/3 | 8.7 | Id. | Id. | Bochum, 1875. |
| .3054 | 0.1117 | 0.3171 | 85 | 1.167000 | 21 2/3 | 9 | Id. | Id. | Gut. Hof. Hôt., 1875. |
| .0342 | 0.1575 | 0.1917 | 90 | 1.201000 | 21 2/3 | 9 | — | Id. | Krupp, 1874. |
| .2924 | 0.1240 | 0.4164 | 87 | 1.180000 | 21 2/3 | — | — | Id. | Gut. Hof. Hôt., 1875. |
| .0691 | 0.1262 | 0.1853 | 84 | 1.163000 | 21 2/3 | — | — | Id. | Bochum, 1875. |
| .2053 | 0.1220 | 0.3283 | | | | | | | |
| .2397 | 0.1160 | 0.3756 | | | | | | | |
| .0342 | 0.0793 | 0.1711 | | | | | | | |
| .5491 | 0.1575 | 0.6881 | | | | | | | |
| .0171 | 0.1089 | 0.1260 | 74 | 1.041000 | 21 2/3 | 7.00 | — | Id. | Bochum, 1875. |
| .0746 | 0.1005 | 0.1751 | 72 | 747976 | 21 2/3 | 8.00 | Moyen. | Griase-Zariz. | Proenux, 1874. |
| .0777 | 0.1229 | 0.2006 | 84 | 722870 | 21 2/3 | — | Id. | Id. | Id. |
| .0864 | 0.0836 | 0.1000 | 105 | 700000 | 24.55 | 0.80 | Id. | Nicolas. | Camuel, 1874. |
| .0637 | 0.0894 | 0.1531 | 72 | 600000 | 24.55 | 1.32 | Id. | Id. | Didon, 1876. |
| .0864 | 0.1810 | 0.2774 | 90 | 465000 | 20 | 7.00 | Faible. | Fastovskaia. | Krupp, 1875. |
| .0693 | 0.1142 | 0.1735 | | | | | | | |
| .0519 | 0.1187 | 0.1527 | | | | | | | |
| .0471 | 0.0820 | 0.1090 | | | | | | | |
| .0864 | 0.1810 | 0.2774 | | | | | | | |
| .1452 | 0.1173 | 0.2641 | | | | | | | |
| .1223 | 0.1150 | 0.2359 | | | | | | | |
| .0155 | 0.1089 | 0.1244 | 103 | — | 20 | 8.00 | Faible. | Orl.-Grioz. | Guest, 1874. |
| .0155 | 0.0931 | 0.1086 | 120 | — | 20 | 6.00 | Id. | Morch.-Sliz. | Union, 1874. |
| .2162 | 0.0931 | 0.3993 | 120 | — | 20 | — | Id. | Id. | John Brown. |
| .2426 | 0.1024 | 0.3450 | 120 | — | 20 | — | Id. | Id. | Union. |
| .0836 | 0.0428 | 0.1314 | 98 | — | 20 | 8.00 | Id. | Orl.-Grioz. | Barrow, 1875. |
| .1557 | 0.0595 | 0.2143 | 45 | — | 20 | 8.00 | — | Id. | Didon, 1875. |
| .1223 | 0.0831 | 0.2054 | | | | | | | |
| .0755 | 0.0428 | 0.1085 | | | | | | | |
| .2425 | 0.4089 | 0.3033 | | | | | | | |
| .1376 | 0.1045 | 0.2421 | | | | | | | |
| .1259 | 0.1065 | 0.2357 | | | | | | | |
| .0171 | 0.0428 | 0.1090 | | | | | | | |
| .5491 | 0.1810 | 0.6881 | | | | | | | |

g service et après avoir supporté des grands poids. Les autres six barres de ce tableau étaient ôtées du chemin sans aucune

Tableau B des rails de mauvaise qu

| NUMÉROS DES BARRES. | Épreuves à la pression (flexion). Flèche en millimètres. | | Essai au choc (mouton de 30 pouds). Flèche en millimètres. | R. Résistance à la rupture en kilogrammes. (Millimètres.) | i. Allongement en pour cent. | c. Rétrécissement en pour cent. | Le produit de Rl. | Total R + c. | Résistance vive à la torsion d'un millimètre carré. | C. Teneur en carbone. |
|---|---|-------------|---|---|---------------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------|---|--------------------------|
| | Élastique. | Permanente. | | | | | | | | |
| 17 | 4.15 | 0.25 | × | 59.06 | 19.8 | 58.0 | 1169 | 117.1 | 30.18 | 0.120 |
| 101 | 4.50 | 0.20 | × | 84.93 | 18.2 | 39.9 | 1546 | 124.8 | 24.34 | 0.480 |
| 75 | 3.40 | 0.00 | × | 46.98 | 20.2 | 48.8 | 949 | 95.8 | 35.12 | 0.200 |
| 74 | 3.75 | 0.10 | 22 | 73.08 | 17.8 | 40.8 | 1301 | 113.9 | 37.84 | 0.450 |
| 69 | 3.60 | 0.20 | × | 76.00 | 1.5 | 0.00 | 114 | 76.1 | 15.44 | 0.340 |
| 14 | 4.10 | 0.10 | 29 | 57.36 | 24.48 | 59.2 | 1420 | 116.5 | 38.78 | 0.110 |
| Moyenne . . . | 3.92 | 0.17 | 25.5 | 61.22 | 17.00 | 49.34 | 1083.16 | 107.36 | 30.45 | 0.30 |
| Moyenne sans le numéro 69 . . . | 3.98 | 0.13 | 25.5 | 64.26 | 21.00 | 49.34 | 1277 | 113.62 | 33.45 | 0.284 |
| Limites | 4.50 | 0.00 | 22 | 46.98 | 1.5 | 0.00 | 114 | 76.1 | 15.44 | 0.110 |
| | 3.40 | 0.15 | 29 | 84.93 | 24.48 | 59.2 | 1546 | 124.8 | 38.78 | 0.48 |
| 118 | 4.50 | 0.40 | 28 | 67.33 | 19.2 | 45.8 | 1293 | 113.1 | 17.67 | 0.36 |
| 84 | 3.50 | 0.05 | 29 | 67.49 | 16.7 | 35.5 | 1127 | 103.0 | 23.17 | 0.23 |
| 25 | 5.30 | 1.20 | 38 | 46.63 | 19.4 | 53.8 | 965 | 100.4 | 33.39 | 0.160 |
| 27 | 4.30 | 0.25 | × | 64.19 | 24.6 | 44.1 | 1579 | 108.3 | 35.26 | 0.280 |
| 28 | 3.00 | 0.00 | 33 | 55.95 | 22.4 | 54.9 | 1233 | 110.9 | 34.72 | 0.240 |
| 26 | 4.10 | 0.65 | × | 51.91 | 7.2 | 7.1 | 374 | 59.0 | 25.48 | 0.190 |
| Moyenne . . . | 4.12 | 0.39 | 32 | 58.916 | 18.2 | 40.2 | 1071.8 | 99.11 | 28.78 | 0.243 |
| Moyenne sans le numéro 26 . . . | 4.12 | 0.47 | 32 | 60.32 | 20.46 | 46.8 | 1211.4 | 107.14 | 29.44 | 0.254 |
| Limites | 3 | 0.00 | 25 | 46.63 | 7.20 | 7.1 | 374 | 59.00 | 17.67 | 0.160 |
| | 5.30 | 1.20 | 38 | 67.49 | 24.6 | 54.9 | 1579 | 113.10 | 35.50 | 0.300 |
| Moyennes des moyennes | 4.01 | 0.38 | 29.83 | 61.23 | 16.62 | 44.35 | 1085.83 | 103.24 | 29.61 | 0.2683 |
| Moyennes des moyennes sans les numéros 69 et 26 | 4.5 | 0.40 | 29.83 | 64.29 | 21.28 | 48.08 | 1354.2 | 110.38 | 30.447 | 0.259 |
| Limites moyennes | 3 | 0.00 | 22 | 46.63 | 1.5 | 0.00 | 114 | 59.00 | 15.44 | 0.110 |
| | 5.30 | 1.20 | 38 | 84.93 | 24.6 | 59.2 | 1579 | 124.8 | 38.78 | 0.48 |

NOTA. — Les barres de ce tableau sont classées d'une telle manière que la durée de leur service se diminue de hau

de service par suite de bris.

| | <i>Ph.</i> Teneur en phosphore. | Total Si + <i>Ph.</i> | Nombre des mois du service des rails. | Tonnage en 1,000 pouds russ. | Type du rail. Poids par pied courant en livres russe. | Pente. | Emploi des freins. | NOM DU CHEMIN DE FER. | NOM DE L'USINE ET ANNÉE DE LA FABRICATION DU RAIL. |
|---|------------------------------------|-----------------------|---|------------------------------------|---|--------|--------------------|--------------------------|---|
| 3 | 0.1463 | 0.6393 | 48 | 94,335 | 21 2/3 | 10.00 | Ordinaire. | Rost.-Vladic. | Osnabruck, 1878. |
| 7 | 0.1676 | 0.4833 | 44 | — | 20 | 8.00 | Moyen. | Orl.-Griazs. | Didon. |
| 1 | 0.1050 | 0.2574 | 12 | 80,000 | 24 5/8 | 1.32 | — | Nicolas. | Demidow, 1876. |
| 5 | 0.1765 | 0.2483 | 8 | 46,000 | 24.55 | 2.84 | — | Id. | Cammel, 1874. |
| 2 | 0.2167 | 0.2229 | 3 | 28,000 | 24 | 8.00 | Fort. | Baltic. | Guta-Banque, 1881. |
| 0 | 0.1463 | 0.5663 | 22 | 30,764 | 21 2/3 | 10.00 | Ordinaire. | Rost-Wladic. | Osnabruck, 1878. |
| 1 | 0.1567 | 0.4029 | | | | | | | |
| 3 | 0.1484 | 0.4300 | | | | | | | |
| 2 | 0.1050 | 0.2229 | | | | | | | |
| 3 | 0.2167 | 0.6393 | | | | | | | |
| 3 | 0.0005 | 0.4198 | 4 | — | 20 | 8.00 | — | Orl.-Griazs. | Barrow, 1875. |
| 5 | 0.0806 | 0.2564 | 6 | 20,000 | 26.52 | — | — | Piga-Dunab. | Un., 1878, D. R. D. E. |
| 5 | 0.0949 | 0.1104 | 1 | 3,000 | 21 2/3 | 8.00 | Faible. | Fastovskaia. | Usine de Varsovie, 1882. |
| 3 | 0.3334 | 0.3427 | 5 | 71 | 21 2/3 | 8.00 | Ordinaire. | Lbava-Rou. | Poutilow, 1877. |
| 1 | 0.3183 | 0.3054 | 2 | 25 | 21 2/3 | 8.00 | Fort. | Id. | Brianski, 1880. |
| 2 | 0.2681 | 0.2743 | 1 | 27 | 21 2/3 | 3.00 | — | Id. | Poutilow, 1877. |
| 2 | 0.1936 | 0.2808 | | | | | | | |
| 2 | 0.1787 | 0.3129 | | | | | | | |
| 2 | 0.0005 | 0.1004 | | | | | | | |
| 3 | 0.3334 | 0.4198 | | | | | | | |
| 7 | 0.1750 | 0.3464 | | | | | | | |
| 3 | 0.1615 | 0.3660 | | | | | | | |
| 2 | 0.0005 | 0.1004 | | | | | | | |
| 3 | 0.3334 | 0.6396 | | | | | | | |

Tableau C des rails de mauvaise qualité, mis hon

| NUMÉROS DES BARRES. | Épreuve à la pression (flexion). Flèche en milli-mètres. | | Essai au choc (monton de 30 pouds). Flèche en millimètres. | R. Résistance à la rupture en kilogrammes. | i. Allongement en pour cent. | c. Rétrécissement en pour cent. | Produit de R. i. | Total R + c. | Résistance vive à la torsion d'un milli-mètre carré. | C. Teneur en carbone. |
|--|---|-------------|---|---|---------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------|--|--------------------------|
| | Elastique. | Permanente. | | | | | | | | |
| 78 | 3 95 | 0.25 | × | 83.67 | 6.6 | 6.2 | 552 | 80.9 | 38 83 | 0.630 |
| 77 | 3 50 | 0.25 | 30 | 53.56 | 18.8 | 38.7 | 1007 | 92.9 | 20 66 | 0.220 |
| 76 | 4.00 | 0.05 | 20 | 50.52 | 20.5 | 32.2 | 1220 | 91.7 | 28.89 | 0.350 |
| 139 | 4.50 | 1.10 | 38 | 52.79 | 20.5 | 54.6 | 1135 | 107.4 | 43.03 | 0.280 |
| 113 | 3.50 | 0 10 | 35 | 88.76 | 12.2 | 33.7 | 1063 | 122.5 | 30 74 | 0.500 |
| 83 | 3 30 | 0.00 | 28 | 60.83 | 19.5 | 48.0 | 1181 | 108.8 | 10.03 | 0.280 |
| Moyenne | 3.70 | 0.29 | 32 | 66.52 | 16.5 | 35.5 | 1197 | 102.1 | 33.49 | 0.386 |
| Moyenne sans le numéro 78 | 3.70 | 0.30 | 31 | 63.00 | 18.5 | 41.4 | 1134 | 104.54 | 32.43 | 0.338 |
| Limites. | 3.10 | 0.00 | 28 | 53.56 | 6.6 | 6.2 | 552 | 80.9 | 10.03 | 0.220 |
| | 4.50 | 1.10 | 38 | 88.76 | 21.5 | 54.6 | 1220 | 122.5 | 43.03 | 0.630 |
| 71 | 4.60 | 0 56 | × | 59.53 | 13.5 | 51.7 | 804 | 111.2 | 36.50 | 0.210 |
| 70 | 4.20 | 0.80 | 42 | 50.51 | 15.5 | 56.9 | 783 | 107.4 | 93.05 | 0 120 |
| 139 | 4 60 | 0.20 | 24 | 49.76 | 23.7 | 55.5 | 1179 | 105.2 | 13.00 | 0.300 |
| 1 | 4.25 | 0 90 | 34 | 60.62 | 21.1 | 41.4 | 1279 | 102.0 | — | 0.237 |
| 9 | 4.65 | 0.85 | 32 | 50.50 | 24.6 | 51.3 | 1242 | 101.8 | 48.49 | 0.230 |
| 31 | 4.20 | 0.75 | 28 | 40 00 | 22.2 | 50.9 | 1021 | 105.9 | — | 0.230 |
| Moyenne. | 4.32 | 0 67 | 32 | 52.82 | 20.1 | 52.8 | 1051 | 105.6 | 47.93 | 0.221 |
| Limites. | 4 60 | 0.20 | 24 | 46.00 | 13.5 | 41.4 | 783 | 101.8 | 13.00 | 0.120 |
| | 4.65 | 0.85 | 42 | 60.62 | 24.6 | 50.9 | 1279 | 111.2 | 93.05 | 0.300 |
| Moyenne des moyennes | 4.03 | 0.48 | 32 | 50.67 | 18.31 | 44.18 | 1040.92 | 103.89 | 39 27 | 0.304 |
| Moyenne des moyennes sans le n° 78 | 4.06 | 0.50 | 32 | 57.49 | 19.37 | 47 63 | 1085.10 | 105.16 | 39 32 | 0.274 |
| Limites moyennes. | 3.30 | 0.00 | 24 | 46.00 | 6.6 | 6.2 | 552 | 80.9 | 13.00 | 0.120 |
| | 4.65 | 1.10 | 42 | 88.76 | 24.6 | 50.9 | 1279 | 122.5 | 93.05 | 0.630 |

OBSERVATION. — Les barres de ce tableau sont classées d'une telle manière que leur qualité se diminue de haut en bas.

ce par suite du foulage de leurs bourrelets sans bris

| Si. Teneur en silicium. | Ph. Teneur en phosphore. | Total Si + Ph. | Nombre des mois du service du rail. | Tonnage en 1,000 pouds bruts. | Type du rail. Poids par pied courant en livres russe. | Pente. | Emploi des freins. | NOM DU CHEMIN DE FER. | NOM DE L'USINE ET ANNÉE DE LA FABRICATION DU RAIL. |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|---|-------------------------------------|---|--------|--------------------|--------------------------|---|
| 0.0264 | 0.1151 | 0.1415 | 86 | 600,000 | 24.55 | 0.41 | — | Nicolas. | Gesta, 1874. |
| 0.0420 | 0.0754 | 0.1174 | 12 | 80,000 | 24.55 | 1.32 | — | Id. | Demidow, 1880. |
| 0.0202 | 0.0894 | 0.1096 | 63 | 450,000 | 24.55 | 0.41 | — | Id. | Cammel, 1876. |
| 0.0264 | 0.0652 | 0.0916 | 48 | — | 24 | — | Faible. | March-Sizran. | Belosselski, 1880. |
| 0.1368 | 0.0804 | 0.2172 | 50 | — | 21 2 3 | 8.00 | — | Orl.-Griaz. | Brown Didon, 1878. |
| 0.1306 | 0.1234 | 0.2540 | 49 | 240,000 | 26.52 | — | — | Riga-Dunab. | Union, 1878. |
| 0.0637 | 0.0914 | 0.1552 | | | | | | | |
| 0.0712 | 0.0867 | 0.1579 | | | | | | | |
| 0.0202 | 0.0652 | 0.0916 | | | | | | | |
| 0.1368 | 0.1234 | 0.2540 | | | | | | | |
| 0.1742 | 0.0748 | 0.2490 | 84 | 670,000 | 21.47 | 8.00 | Sans frein. | Baltique. | Union, 1875. |
| 0.0031 | 0.0955 | 0.0986 | 20 | 200,000 | 24 | 8.00 | Fort. | Id. | Guta-Bankow. |
| 0.0655 | 0.0949 | 0.1604 | 30 | 203,000 | 21 2 3 | — | Sans frein. | Lodz-Fabr. | Proeniz, 1879. |
| 0.0320 | 0.0882 | 0.1202 | 7 | 49,004 | 24.5 | — | Id. | Rib-Bolog. | Alexandre, 1882. |
| 0.0204 | 0.1307 | 0.1511 | 7 | 29,716 | 21 2 3 | — | Id. | Id. | Bird, 1880. |
| 0.0342 | 0.0698 | 0.1040 | 41 | 737 | 21 2 3 | 8.00 | Fort. | Libava-Rom. | Poutilow, 1879. |
| 0.0548 | 0.1025 | 0.2472 | | | | | | | |
| 0.0031 | 0.0748 | 0.0986 | | | | | | | |
| 0.1742 | 0.1307 | 0.3049 | | | | | | | |
| 0.0603 | 0.1419 | 0.2022 | | | | | | | |
| 0.0623 | 0.1443 | 0.2066 | | | | | | | |
| 0.0031 | 0.0652 | 0.0916 | | | | | | | |
| 0.1742 | 0.1307 | 0.3049 | | | | | | | |

Tableau E contenant les rails dont les numéros se retrouvent le plus de fois dans les

| Numéros par ordre. | | Numéros des barres. | Épreuve de la pression. Flèche temporaire en millimètres. | Épreuve à la pression (flexion). Flèche permanente en millimètres. | Essai au choc. Flèche en millimètres. | R. Résistance à la rupture en kilogrammes par millimètre carré. | Allongement en p. c. | Rétrécissement p. c. | R _i Produit. | R + c. Total. | Résistance vive à la torsion d'un millimètre carré | TR | | | |
|-----------------------------|-----|---------------------|---|--|--|--|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------|---|----------|------------|---|-----------|
| | | | | | | | | | | | | carbone. | manganèse. | Total du carbone et du manganèse. | silicium. |
| 1 | 73 | | 4,00 | 0,15 | 25 | 63,72 | 18,2 | 43,7 | 116,1 | 107,4 | 28,87 | 0,280 | 0,7030 | 0,9840 | 0,1244 |
| 2 | 8 | | 3,90 | 0,15 | eu. | 72,38 | 12,00 | 31,2 | 820 | 103,6 | 27,58 | 0,290 | 0,6304 | 0,9104 | 0,2924 |
| 3 | 123 | | 4,75 | 0,10 | 37 | 50,00 | 21,6 | 52,8 | 127,0 | 111,9 | 26,01 | 0,29 | 0,6160 | 0,9060 | 0,1182 |
| 4 | 6 | | 4,00 | 0,00 | 27 | 63,28 | 20,0 | 42,0 | 1645 | 165,3 | 31,47 | 0,270 | 0,5984 | 0,8484 | 0,0391 |
| 5 | 83 | | 3,30 | 0,00 | 28 | 60,83 | 19,5 | 48,0 | 1190 | 108,8 | 19,93 | 0,28 | 0,4661 | 0,7461 | 0,1306 |
| Grand. Moyenne. | | | 3,90 | 0,73 | 29 | 63,85 | 19,56 | 43,14 | 1,27 | 107,4 | 26,83 | 0,278 | 0,6010 | 0,8700 | 0,1469 |
| Limites. | | | de 3,30 | de 0,00 | de 25 | 50,00 | 12,00 | 31,2 | 820 | 103,6 | 19,93 | 0,250 | 0,4648 | 0,7464 | 0,0391 |
| | | | à 4,75 | à 0,15 | à 37 | 72,38 | 20,00 | 52,8 | 1645 | 111,9 | 31,47 | 0,290 | 0,740 | 0,9840 | 0,2924 |
| 6 | 7 | | 4,00 | 0,20 | 26 | 61,56 | 18,5 | 35,0 | 1296 | 101,3 | 32,07 | 0,290 | 0,5368 | 0,7368 | 0,2054 |
| 7 | 91 | | 3,75 | 0,20 | eu. | 62,65 | 11,8 | 15,0 | 743 | 78,0 | 18,05 | 0,29 | 0,5808 | 0,8708 | 0,0233 |
| 8 | 88 | | 3,40 | 0,10 | 26 | 61,97 | 20,4 | 43,0 | 1264 | 108,8 | 12,58 | 0,25 | 0,4023 | 0,7120 | 0,0631 |
| 9 | 46 | | 5,00 | 1,00 | 36 | 55,70 | 17,3 | 30,9 | 964 | 95,6 | 18,43 | 0,270 | 0,5280 | 0,7980 | 0,0248 |
| 10 | 45 | | 4,00 | 0,00 | 19 | 91,16 | 12,4 | 28,1 | 1120 | 119,3 | 38,65 | 0,540 | 0,3176 | 0,8876 | 0,0340 |
| 11 | 51 | | 4,30 | 0,20 | 30 | 63,31 | 19,4 | 50,6 | 1229 | 113,9 | 28,25 | 0,230 | 0,5324 | 0,7624 | 0,1042 |
| 12 | 52 | | 4,30 | 0,25 | 36 | 50,50 | 24,6 | 58,6 | 1244 | 109,1 | 38,17 | 0,13 | 0,3476 | 0,4776 | 0,0840 |
| Grand. Moyenne. | | | 4,10 | 0,278 | 28,8 | 64,55 | 17,9 | 39,3 | 1114 | 103,7 | 26,6 | 0,272 | 0,4761 | 0,7493 | 0,0840 |
| Limites. | | | 3,40 | 0,00 | 19 | 59,59 | 11,8 | 15,00 | 743 | 78,0 | 12,58 | 0,13 | 0,3176 | 0,4776 | 0,0233 |
| | | | 5,00 | 1,00 | 36 | 91,16 | 24,5 | 58,00 | 1264 | 119,3 | 38,65 | 0,54 | 0,5808 | 0,8876 | 0,2054 |
| Moyenne des moyennes. | | | 4,00 | 0,26 | 29 | 64,26 | 18,5 | 41,1 | 1161 | 105,2 | 26,63 | 0,275 | 0,5284 | 0,8433 | 0,1139 |

le plus grand nombre moyen de mois de service, jusqu'à la mise hors de service.

| chromé. | cuivre. | cupé. | Type du rail. Le poids par pied courant en livres russes. | Tonnage brut passé sur le rail. | Nombre des mois de service. | Pente. | Emploi des freins. | NOM DU CHEMIN. | NOM DE L'USINE. | OBSERVATION. |
|---------|---------|-------|---|------------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| | | | | | | | | | | |
| " | 0.1277 | " | 24.5 | 691,000 | 103 | pk. 1.32 | Sans frein. | Nicolas. | Schneider. | Répéter 6 fois. |
| " | " | " | 21 2/3 | 1,180,070 | 87 | " | — | Rib.-Bolog. | Gut. Hof. Hüt. | — 5 — |
| " | " | " | 20 | " | 120 | pk. 10 | Faible. | March.-Sizr. | John Brown. | — 4 — |
| " | 0.37 | 0.08 | 21 2/3 | 1,162,251 | 84 | " | Sans frein. | Rib.-Bolog. | Bochum. | — 4 — |
| " | " | " | 26.52 | 249,000 | 49 | " | — | Riga-Dun. | Union. | — 4 — |
| " | " | " | " | 818,120 | 88.6 | " | " | " | " | |
| " | " | " | " | 240,000 | 49 | 1.32 | " | " | " | |
| " | " | " | " | 1,189,710 | 120 | 10 | " | " | " | |
| " | " | " | 21 2/3 | 1,167,108 | 85 | pk. 9 | Frein ordinaire. | Rib.-Bolog. | Gut. Hof. Hüt. | Répéter 3 fois. |
| " | " | " | " | " | 92 | pk. 6.6 | " | Dun.-Viteb. | John Brown. | — — |
| " | " | " | 24 1/3 | " | 96 | " | Sans frein. | Moscou-Nijg. | Brown, Bayley et Didon. | — — |
| " | " | " | 21 2/3 | 567,507 | 57 | " | — | Orl.-Vitebs. | — | — — |
| " | " | " | 21 2/3 | 551,238 | 54 | 6 | — | — | — | — — |
| " | " | " | 20 | 361,000 | 63 | " | — | Privislín. | Union. | — — |
| " | " | " | 20 | 321,000 | 60 | " | — | — | Bochum. | — — |
| " | " | " | " | 563,585 | 73.7 | " | " | " | " | |
| " | " | " | " | 321,000 | 54 | " | " | " | " | |
| " | " | " | " | 1,167,108 | 90 | " | " | " | " | |
| " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | |

Tableaux K et L contenant les résultats moyens

K

| NOMS DES USINES. | Nombre des barres éprouvées. | Tonnage en 1,000 pouds bruts. | Nombre des mois de service. | Barres cassées. | R. Résistance tem- porelle à la rup- ture en kilog. | Allongement ϵ en p. c. | Rétrécissement ϵ_c en p. c. | Résistance vive à la torsion. Kilog. mil. lin. | Teneur en | | |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|--|------------------------------------|--|--|----------------|-------------------|------------------|
| | | | | | | | | | C. Carboné. | Mn. Manganèse. | Si. Silicium. |
| | | | | | | | | | En pour-cents | | |
| | | | | | | | | | | | |
| USINES RUSSES. | | | | | | | | | | | |
| 1. Alexandrovsky | 2 | 49,064 | 7 | " | 55.00 | 17.85 | 32.5 | " | 0.248 | 0.7723 | 0.0207 |
| 2. Poutilow | 7 | 26,519 | 21.4 | 3 | 54.78 | 20.3 | 37.2 | 30.95 | 0.250 | 0.6961 | 0.0264 |
| 3. Bird | 2 | 129,858 | 21.5 | " | 55.55 | 22.6 | 49.9 | 54.63 | 0.27 | 1.1348 | 0.877 |
| 4. Warschavski | 1 | 3,000 | 1 | 1 | 46.63 | 19.4 | 53.8 | 36.39 | 0.100 | 0.3080 | 0.0155 |
| 5. Brianski | 15 | 344,067 | 43.9 | 8 | 56.32 | 16.8 | 45.1 | 40.49 | 0.260 | 0.3549 | 0.0505 |
| 6. Demidow | 3 | 80,000 | 57 | 1 | 57.99 | 13.3 | 26.1 | 23.57 | 0.257 | 0.9557 | 0.0275 |
| 7. Belosselski | 2 | inconnu. | 36 | " | 53.55 | 17.9 | 46.1 | 41.88 | 0.23 | 0.2573 | 0.481 |
| 8. Guta-Bankova | 2 | 114,000 | 11.5 | 1 | 63.25 | 8.5 | 28.4 | 54.55 | 0.239 | 1.1124 | 0.0046 |
| | 34 | 192,956 | 33.3 | 14 | 56.01 | 17.3 | 40.7 | 38.51 | 0.228 | 0.5630 | 0.0926 |
| | | | | 41 p.c. | | | | | | | |
| USINES ALLEMANDES. | | | | | | | | | | | |
| 1. Bochum | 7 | 683,752 | 74.51 | 3 | 59.8 | 21.65 | 42.23 | 27.43 | 0.202 | 0.5103 | 0.0529 |
| 2. Gute Hoffn.-Hütte | 4 | 950,205 | 71.3 | 3 | 61.75 | 18.0 | 42.1 | 32.22 | 0.27 | 0.6119 | 0.2731 |
| 3. Krupp | 7 | 477,319 | 58.0 | 5 | 58.78 | 13.5 | 28.9 | 25.58 | 0.305 | 0.4408 | 0.0966 |
| 4. Osnabruck | 4 | 60,344 | 43.8 | 4 | 61.12 | 23.00 | 57.4 | 34.39 | 0.140 | 0.7062 | 0.4636 |
| 5. Phoenix | 4 | 482,463 | 53.8 | 1 | 61.43 | 18.5 | 40.3 | 25.22 | 0.315 | 0.4851 | 0.0665 |
| 6. Union | 8 | 273,358 | 47.3 | 4 | 64.54 | 17.9 | 43.6 | 24.32 | 0.283 | 0.4458 | 0.1304 |
| | 34 | 479,012 | 58.47 | 20 | 61.03 | 18.28 | 41.35 | 27.56 | 0.2746 | 0.5128 | 0.1562 |
| | | | | 58 p.c. | | | | | | | |
| USINES ANGLAISES ET FRANÇAISES. | | | | | | | | | | | |
| 1. Barrow | 9 | 253,350 | 57.34 | 5 | 61.83 | 16.8 | 34.9 | 20.36 | 0.387 | 0.4046 | 0.0734 |
| 2. Cammel | 9 | 441,846 | 80.0 | 3 | 60.83 | 17.0 | 38.1 | 28.56 | 0.307 | 0.6266 | 0.0229 |
| 3. John Brown | 5 | 684,191 | 94.7 | 2 | 66.89 | 17.8 | 38.8 | 33.84 | 0.348 | 0.5119 | 0.1185 |
| 4. Brown-Didon | 6 | 600,000 | 59.68 | 1 | 77.54 | 16.13 | 38.9 | 31.27 | 0.408 | 0.9051 | 0.1418 |
| 5. Brown, Bayley-Didon | 4 | 397,471 | 75.6 | 2 | 72.12 | 17.2 | 39.3 | 31.19 | 0.375 | 0.4099 | 0.0665 |
| 6. Eb. Vale | 1 | 1,045 | 60.0 | " | 62.53 | 20.3 | 43.2 | 23.27 | 0.529 | 0.3476 | 0.1508 |
| 7. Guest | 3 | 600,000 | 96.3 | 1 | 67.68 | 12.4 | 29.3 | 28.57 | 0.467 | 0.7040 | 0.0269 |
| 8. Schneider | 2 | 660,000 | 97.0 | 2 | 63.66 | 15.2 | 43.7 | 29.14 | 0.280 | 0.8668 | 0.3711 |
| | 39 | 461,245 | 74.62 | 16 | 66.29 | 16.6 | 37.4 | 27.3 | 0.378 | 0.6270 | 0.0953 |
| | | | | 41 p.c. | | | | | | | |

Observations. — 1° Le tableau K contient les résultats moyens des 107 barres éprouvées. — 2° Dans le tableau L sont n° 89 (Demidow); n° 69 (Guta-Bankova); n° 4, 10, 22 (Krupp); n° 93 et 144 (Barrow); n° 47 (Cammel); n° 78 (Guest). — 3° En cet moyenne, ont servi beaucoup mieux que les rails des usines russes, et, qu'en outre, les rails russes contiennent beaucoup a

mes faites sur les rails des différentes usines.

L

| NOMS DES USINES. | Nombre des barres éprouvées. | Tonnage en 1,000 pouds bruts. | Nombre des mois de service. | Barres cassées. | R. | | | | Teneur en | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|--|------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|------------------|------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------------|
| | | | | | Résistance tem- poraire à la rup- ture en kilog. | Allongement ϵ | Retraitement ϵ | Résistance vive à la torsion. | C. Carbone. | Mn. Manga- nèse. | Si. Silicium. | Ph. Phos- phore. | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | en mill. carrés. | en p. c. | en p. c. | Kilog. millim. |
| | | | | | | | | | | | | | En pour-cents. | | | |
| USINES RUSSES. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Androvsky | 2 | 49,064 | 7 | " | 55.00 | 17.85 | 32.5 | " | 0.248 | 0.7723 | 0.0207 | 0.1017 | | | | |
| How | 6 | 30,934 | 24.8 | 2 | 55.25 | 22.48 | 42.21 | 31.86 | 0.26 | 0.7051 | 0.0647 | 0.2721 | | | | |
| " | 2 | 129,858 | 21.5 | " | 55.55 | 22.6 | 40.9 | 54.63 | 0.27 | 1.1348 | 0.8770 | 0.1142 | | | | |
| Schavski | 1 | 3,000 | 1 | 1 | 46.03 | 19.4 | 53.8 | 36.39 | 0.160 | 0.3080 | 0.0155 | 0.0049 | | | | |
| nski. | 14 | 325,279 | 42.8 | 8 | 57.84 | 17.6 | 46.3 | 42.52 | 0.210 | 0.4102 | 0.0538 | 0.2190 | | | | |
| Idow | 2 | 80,600 | 55.5 | " | 60.97 | 15.06 | 28.9 | 27.81 | 0.305 | 0.2881 | 0.0280 | 0.6600 | | | | |
| szelaki | 2 | inconnu. | 36 | " | 53.75 | 17.9 | 46.1 | 41.88 | 0.23 | 0.2513 | 0.0481 | 0.0652 | | | | |
| Bankova | 1 | 200,000 | 20 | " | 50.51 | 15.5 | 16.9 | 93.66 | 0.120 | 0.7020 | 0.0030 | 0.0055 | | | | |
| | 30 | 195,015 | 30.63 | 11 | 56.25 | 18.73 | 45.16 | 41.61 | 0.233 | 0.5322 | 0.1036 | 0.1831 | | | | |
| | | | | 37 p.c. | | | | | | | | | | | | |
| USINES ALLEMANDES. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| am | 7 | 683,752 | 74.54 | 3 | 59.8 | 21.15 | 43.23 | 27.43 | 0.292 | 0.5103 | 0.0529 | 0.1090 | | | | |
| Hoffn.-Hütte | 4 | 950,205 | 71.8 | 3 | 64.75 | 18.0 | 42.1 | 32.22 | 0.270 | 0.6119 | 0.2751 | 0.1183 | | | | |
| p. | 4 | 61,345 | 49.3 | 4 | 54.84 | 19.15 | 44.9 | 31.08 | 0.274 | 0.5319 | 0.0875 | 0.1575 | | | | |
| bruck | 4 | 60,344 | 43.8 | 4 | 61.12 | 23.0 | 57.4 | 34.39 | 0.140 | 0.7002 | 0.4636 | 0.1444 | | | | |
| lix | 4 | 482,463 | 53.8 | 1 | 61.43 | 18.5 | 40.3 | 25.22 | 0.315 | 0.4851 | 0.0605 | 0.1075 | | | | |
| m. | 8 | 273,358 | 47.3 | 4 | 64.54 | 17.9 | 43.6 | 24.92 | 0.283 | 0.4458 | 0.1304 | 0.1196 | | | | |
| | 31 | 425,501 | 57.25 | 19 | 61.41 | 19.52 | 44.61 | 28.48 | 0.265 | 0.5315 | 0.1607 | 0.1235 | | | | |
| | | | | 61 p.c. | | | | | | | | | | | | |
| USINES ANGLAISSES ET FRANÇAISES. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ow | 7 | 257,506 | 57.01 | 4 | 60.29 | 19.54 | 41.83 | 21.77 | 0.387 | 0.4607 | 0.0833 | 0.775 | | | | |
| mel | 8 | 415,755 | 81.6 | 3 | 61.64 | 18.3 | 41.1 | 30.42 | 0.316 | 0.6422 | 0.0314 | 0.0809 | | | | |
| Brown | 5 | 684,191 | 94.7 | 2 | 66.89 | 17.8 | 38.8 | 33.84 | 0.348 | 0.5119 | 0.1185 | 0.0042 | | | | |
| rn-Didon | 6 | 600,000 | 59.68 | 1 | 77.54 | 16.13 | 38.9 | 31.27 | 0.452 | 0.9950 | 0.1418 | 0.0874 | | | | |
| rn, Bayley-Didon | 4 | 397,471 | 75.6 | 2 | 72.12 | 17.2 | 39.3 | 31.19 | 0.375 | 0.4079 | 0.0055 | 0.1104 | | | | |
| Vale | 1 | 1,045 | 60 | " | 62.53 | 20.3 | 43.2 | 23.27 | 0.520 | 0.3476 | 0.1508 | 0.0800 | | | | |
| st. | 2 | 600,000 | 101.45 | 1 | 59.08 | 15.3 | 40.85 | 23.44 | 0.385 | 0.4810 | 0.0271 | 0.1262 | | | | |
| seider | 2 | 600,000 | 97 | 2 | 63.66 | 15.2 | 43.7 | 29.14 | 0.280 | 0.8668 | 0.3711 | 0.1011 | | | | |
| | 35 | 471,059 | 75.51 | 15 | 66.07 | 17.7 | 40.5 | 28.73 | 0.373 | 0.6184 | 0.1040 | 0.0916 | | | | |
| | | | | 43 p.c. | | | | | | | | | | | | |

es 11 barres qui ont donné à l'épreuve à la rupture un allongement ni moindre que 10 p. c. : N° 26 (Poutilow); n° 40 (Brianski);
analysés des deux tableaux, on remarque que les rails des usines étrangères, surtout ceux des anglaises, ayant la dureté
et beaucoup plus de phosphore.

Tableau comparatif M des rés

| | D'API | |
|--|------------------------------|---------|
| | A | |
| | Des meilleurs rails de tous. | Des mei |
| Tonnage 1,000 pouds bruts passés sur les rails | 1,170,600 | 818,0 |
| Nombre de mois de service | 85.6 | 88.6 |
| Pour cent des barres cassées en service | 60 | 80 |
| Flèche élastique à l'épreuve à la pression. | 3.79 | 3.91 |
| — permanente — — | 0.13 | 0.11 |
| — au premier coup du mouton | 25 | 29 |
| Résistance à la rupture R en kilogrammes par millimètre carré. | 66.97 | 63.8 |
| Allongement ϵ en pour cent. | 19.0 | 19.3 |
| Rétrécissement c en pour cent. | 36.5 | 43.1 |
| Produit de $R\epsilon$ | 1,245 | 1,227 |
| Total $R + c$ | 104 | 107 |
| Résistance vive à la torsion en millimètres carrés | 33.6 | 26.8 |
| Pour cent de la teneur en carbone = C | 0.28 | 0.27 |
| — — en manganèse = Mn | 0.669 | 0.61 |
| $C + Mn$ | 0.967 | 0.87 |
| Pour cent de la teneur en silicium = Si | 0.240 | 0.14 |
| — — en phosphore = Ph | 0.116 | 0.11 |
| $Si + Ph$ | 0.376 | 0.24 |
| Nombre de barres auquel la grandeur moyenne se rapporte | 5 | 5 |
| Nombre des usines | " | " |

Observation. — Dans les graphiques du tableau L sont exceptées les 4

ns des épreuves faites sur les rails.

| EX | | DES USINES EN GÉNÉRAL (K) | | | DES USINES EN PARTICULIER (L) | | |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| B | C | russes. | allemandes. | anglaises et françaises. | russes. | allemandes. | anglaises et françaises. |
| mauvais ants. | Des mauvais doux. | | | | | | |
| 774 | 191,753 | 192,986 | 470,012 | 461,245 | 195,015 | 425,501 | 471,059 |
| 1.6 | 31.5 | 33.3 | 58.47 | 74.62 | 30.6 | 57.2 | 75.5 |
| | " | 41 | 58 | 41 | 37 | 61 | 43 |
| 1.12 | 4.32 | " | " | " | " | " | " |
| 1.47 | 0.67 | " | " | " | " | " | " |
| | 32 | " | " | " | " | " | " |
| 1.32 | 52.82 | 56.01 | 61.63 | 66.29 | 56.25 | 61.41 | 66.07 |
| 1.5 | 20.1 | 17.3 | 18.28 | 16.6 | 18.7 | 19.5 | 17.7 |
| 1.8 | 52.8 | 40.7 | 41.35 | 37.4 | 45.2 | 44.6 | 40.5 |
| 11 | 1,051 | 969 | 1,126 | 1,100 | 1,052 | 1,197 | 1,170 |
| 07 | 105 | 97 | 103 | 104 | 101 | 106 | 107 |
| 1.4 | 47.3 | 38.51 | 27.56 | 27.3 | 41.6 | 28.7 | 28.7 |
| 1.254 | 0.221 | 0.228 | 0.275 | 0.378 | 0.233 | 0.265 | 0.373 |
| 1.543 | 0.741 | 0.560 | 0.513 | 0.627 | 0.532 | 0.531 | 0.618 |
| 1.799 | 0.962 | 0.788 | 0.788 | 1.005 | 0.765 | 0.796 | 0.991 |
| 1.114 | 0.055 | 0.093 | 0.156 | 0.095 | 0.104 | 0.161 | 0.104 |
| 1.179 | 0.193 | 0.189 | 0.127 | 0.093 | 0.183 | 0.123 | 0.092 |
| 1.313 | 0.247 | 0.282 | 0.283 | 0.188 | 0.287 | 0.224 | 0.196 |
| 5 | 6 | 34 | 34 | 59 | 30 | 31 | 35 |
| " | " | 8 | 6 | 8 | 8 | 6 | 8 |

donné, à l'épreuve à la rupture, un allongement moindre que 10 p. c.

DISCUSSION EN SECTION

(1^{re} SECTION)

Séance du 16 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. BRICKA

La séance est ouverte à 9 heures 1/4.

M. le Président. Messieurs, nous avons sept questions à examiner et nous ne pouvons leur consacrer que huit séances. Nous devons donc nous appliquer à résoudre au moins une question par séance, et pour que les membres de la section sachent à peu près d'avance quand aura lieu la discussion de chacun des sujets soumis à notre examen, je vous propose de suivre l'ordre dans lequel les questions sont portées à notre programme. (*Assentiment unanime.*)

Nous commencerons donc par la question I, littéra A. La parole est au rapporteur, M. Bricka, ingénieur en chef de la voie et des bâtiments des chemins de fer de l'État français.

M. Bricka présente une analyse de l'exposé qu'il a fait de la question (¹).

M. Waldmann (*Espagne*). Je ne puis que me rallier aux conclusions de

(¹) Cet exposé a été publié dans le *Bulletin*, vol. III, numéro d'août, 2^e fasc., p. 1265. Il est reproduit ci-dessus.

l'exposé de M. Bricka en ce qui concerne la qualité du métal à employer dans la fabrication des rails. Depuis une quinzaine d'années, nous employons des rails en acier sur le réseau du Nord de l'Espagne; nous avons augmenté progressivement la dureté du métal et, malgré cela, nous n'avons pas eu et nous n'avons pas de ruptures. Pourtant, les variations de température sont, chez nous, excessivement fortes; en hiver, sur le plateau de Burgos et au sommet du Guadarrama, où nous arrivons à la cote de 1,359 mètres au-dessus du niveau de la mer, nous avons des froids qui descendent jusqu'à 15 degrés au-dessous de zéro, et, pendant l'été, aux mois de juillet et d'août, il n'est pas rare d'avoir 40 à 42 degrés à l'ombre; je vous laisse à penser ce que devient la température d'un rail qui, dans ces conditions, a été exposé tout le jour à un soleil ardent. La différence entre ces températures extrêmes peut donc être évaluée, au minimum, à 60 degrés centigrades. Je dois ajouter que les changements de température sont parfois très rapides et très brusques; nous nous trouvons, par conséquent, dans les plus mauvaises conditions au point de vue des modifications moléculaires internes du métal; pourtant nous n'avons pas de ruptures. Notre expérience nous démontre donc qu'une variation de — 15 degrés à + 40 n'influe pas sur la rupture des rails d'acier.

Comme je l'ai dit, nous employons le rail en acier dur forme Vignoles. M. Bricka pense que ce rail est plus difficile à obtenir en acier dur que le rail à double champignon; je ne le crois pas : il est évident que le patin du rail étant plus mince que le champignon, doit se refroidir plus rapidement, mais ce n'est pas un obstacle pour la fabrication; il serait possible de trouver un moyen de remédier à cet inconvénient; quoi qu'il en soit, c'est là une question de métallurgie qui sort un peu du cadre que nous nous proposons et que nous devons laisser résoudre par les hommes spéciaux.

M. J. Michel (*France*). Je ne puis également qu'appuyer les conclusions du rapport de M. Bricka. Je veux seulement appeler l'attention de la section sur un point :

Il n'y a pas que la rupture des rails qui soit à craindre; il y a aussi à considérer la déformation qu'ils peuvent subir, et c'est ce que M. Bricka signale avec raison; sous ce rapport, le rail phosphoré Bessemer basique, placé sur des lignes à forte rampe, ne nous a donné que de mauvais résultats : il s'est bien vite déformé et, après quatre ans de service, nous avons déjà dû en remplacer environ 3 p. c.; sur une ligne de 70 kilomètres, nous avons eu 600 barres qui ont dû être retirées de la voie pour cause de déformation. J'ai eu, il y a quelques jours,

entre les mains un rapport qui est très catégorique sur ce point : il en résulte que, sur des barres de 8 mètres de longueur, on a constaté une déformation atteignant jusqu'à 26 à 30 millimètres.

C'est donc là une particularité très importante sur laquelle la sérieuse attention des ingénieurs doit être appelée.

M. Brière (*France*). Est-ce dans le sens vertical ou dans le sens horizontal que cette déformation se produit ?

M. J. Michel. Dans le sens horizontal.

M. M. von Leber (*Autriche*). Je me rallie complètement aux conclusions du rapport de M. Bricka.

M. Hohenegger (*Autriche*). Je partage tout à fait l'avis de M. le rapporteur. En Autriche, nous avons fait, sur notre ligne du nord-ouest, l'expérience de divers systèmes et nous avons constaté que jusqu'à présent l'acier Bessemer basique ne donne pas de bons résultats. Beaucoup de nos ingénieurs se sont occupés de la question et l'étudient encore; ils ne l'ont pas encore définitivement résolue, l'expérience n'ayant pas eu une durée assez longue.

Quant à moi, je le répète, je me rallie absolument à l'opinion de M. le rapporteur.

M. Sandberg (*Suède*). En ma qualité d'inspecteur des rails de l'État suédois, j'ai pu, pendant une carrière de trente années, faire, sur une grande échelle, des expériences dont j'ai publié successivement le résultat dans le *Bulletin* des ingénieurs civils, à Londres, à Paris et en Amérique.

Mon opinion sur la question posée est qu'il faut donner au rail la plus grande dureté possible et qu'il doit offrir une résistance suffisante pour assurer la sécurité de la circulation. Pour obtenir ce résultat, il faut, dans les climats froids, éviter autant que possible l'emploi du phosphore, et s'appliquer à donner au rail la plus grande dureté en recourant plutôt au carbone et au manganèse; dans les climats chauds, on peut admettre plus de phosphore et de silicium. Mais au point de vue de la sécurité, l'épreuve la plus pratique pour la réception est toujours le choc, comme celui auquel le rail est exposé sur la voie.

L'expérience chimique peut aussi être faite rapidement; elle constitue un contrôle satisfaisant au point de vue de la sécurité, sans retarder la fabrication, même quand la production est très forte, comme elle l'est dans nos grandes usines.

Les épreuves de tension et de rupture sont très intéressantes, surtout celle de l'allongement du métal. Mais comme elles prennent beaucoup de temps, elles devraient ne pas être obligatoires pour la réception, et être faites plutôt à titre d'information.

Il faut aussi que les accessoires soient d'un acier plus tendre que le rail.

M. Lommel (*Suisse*). Nous avons constaté, sur la ligne du Jura-Berne, des ruptures un peu plus nombreuses que ne le relate le rapport de M. Bricka, avec des rails un peu plus durs; mais la différence n'est pas grande. Au point de vue de l'usure, la différence est énorme; elle est trois fois moindre environ pour les rails durs.

D'une manière générale, je puis me rallier au rapport de M. Bricka, sauf en ce qui concerne le coefficient. Peut-être M. Meyer pourrait-il donner, à ce sujet, des renseignements plus précis.

M. Kalf (*Pays-Bas*). Le résultat des expériences que nous avons faites en Hollande est consigné dans le rapport de M. Bricka. Nous avons fait des expériences très concluantes en ce qui concerne l'usure; elles confirment tout à fait l'avis de M. le rapporteur, mais quant à la rupture, les différences sont si minimes qu'il n'y pas de conclusions à en tirer.

Sir Henry Tyler (*Canada et Grande-Bretagne*). Je connais mieux les chemins de fer canadiens que les chemins de fer français. Les rails qu'on employait autrefois au Canada étaient plus durs que ceux dont on se sert aujourd'hui. L'emploi du carbone en plus grande quantité dans la fabrication des rails, ne nous a pas donné tous les bons résultats que nous avons espérés; nous avons constaté que l'addition d'une certaine quantité de silicium est préférable. Le silicium ne nuit pas au rail; au contraire, il lui donne plus de dureté. C'est ce que nous avons reconnu après une longue série d'expériences.

M. le Président. Il serait intéressant de connaître le résultat des expériences faites dans les pays où la température est très élevée.

M. M. von Leber. Il serait désirable que la question de la température fût examinée avec soin. Elle a été agitée par le Congrès à Milan, où des délégués russes nous ont fourni d'intéressants renseignements sur ce point. Il est évident que les conditions de fabrication doivent être différentes selon les climats où les rails sont destinés à être mis en usage.

M. le Président. Je suis tout à fait de cet avis; il nous serait fort utile de connaître l'avis des ingénieurs appartenant à des contrées où règne une température élevée.

Personne ne demandant plus la parole, la discussion est close sur la question I, littéra A. Un rapport résumant les observations qui viennent d'être échangées sera soumis ultérieurement à la section.

Séance du 17 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. BRICKA

M. le Président. Je prie M. le Secrétaire principal de nous donner lecture de son rapport résumant la discussion de la question I, littéra A.

M. Perk. J'ai l'honneur de vous donner lecture de ce rapport, lequel est ainsi conçu :

- La 1^{re} section a eu pour bases de l'examen de la question I, littéra A :
 - 1^o Un exposé de M. Bricka;
 - 2^o Une note de M. Hallopeau, donnant un aperçu très complet de ce qui a été fait au chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, surtout par les soins de M. l'ingénieur en chef Jules Michel, pour améliorer la situation et assurer de plus en plus la stabilité, la rigidité et la solidité des voies, et
 - 3^o Une note de M. Werchovsky contenant un aperçu des études de la Société technique impériale russe sur la nature de l'acier pour rails de chemins de fer.

- Ces informations ont été complétées par des communications très intéressantes quant à la situation en Espagne, en Autriche, en Suisse, aux Pays-Bas et au Canada.

« On a été d'accord que, pour ce qui concerne les rails, l'on n'avait à s'occuper que de l'acier, les ingénieurs des chemins de fer étant unanimes pour reconnaître que le fer soudé devait être écarté dans tous les cas. Quant à l'acier, on peut consi-

dérer comme démontré que les rails en acier dur résistent mieux que les rails en acier doux, non seulement à l'usure normale, sauf dans des cas particuliers, mais aussi aux détériorations accidentelles. Malgré la supériorité accordée de la sorte aux rails en acier dur, l'on ne doit les préférer que lorsque les conditions dans lesquelles ils ont été fabriqués donnent des garanties suffisantes contre les ruptures imprévues.

« Les conclusions de M. Bricka n'ont été nullement combattues, de sorte que la 1^{re} section propose au Congrès de se rallier aux conclusions suivantes :

« On doit préférer pour la fabrication des rails l'acier le plus dur, à la condition qu'il soit de bonne qualité et à peu près entièrement exempt de phosphore.

« Le degré de dureté qu'il est possible d'obtenir, sans que la qualité en soit altérée, dépend du mode de fabrication et de la nature du minerai employé.

« Pour les accessoires de la voie, l'emploi de l'acier tend à se répandre de plus en plus; on préfère, d'une manière générale, l'avoir de dureté moyenne pour les éclisses, et l'avoir doux ou en fer fondu pour les tire-fond et les boulons. »

— Les conclusions de ce rapport sont adoptées.

QUESTION I, LITTÉRA B

USURE DES RAILS D'ACIER

Lois qui règlent l'usure des rails d'acier.

QUESTION I, LITTÉRA B

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|---|-----------|
| Exposé par M. DE BUSSCHERE (fig. 1 à 8 et pl. II et III) | I-B — 3 |
| 1 ^{re} note par l'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ AUSTRO-HONGROISE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT | I-B — 99 |
| 2 ^e note par l'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GRAND CENTRAL BELGE . . . | I-B — 101 |
| 3 ^e — — — — — DU GOTHARD. | I-B — 105 |
| 4 ^e — — — — — DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE (pl. IV) . . . | I-B — 108 |
| Discussion en section | I-B — 113 |
| — en séance plénière et conclusions. | I-B — 128 |
| Annexe A. — Lettre sur les expériences du général Pétroff, par M. L. DE KIS- LANSKI, ingénieur des ponts et chaussées de Russie | I-B — 136 |
| — B. — Note sur les expériences de M. de Stetzewitch, par M. N. DE SYTENKO, conseiller de cour de l'empire de Russie (pl. V et VI) | I-B — 138 |

EXPOSÉ

Par **LOUIS DE BUSSCHERE**

INGENIEUR EN CHEF AU CHEMIN DE FER DE L'ÉTAT BELGE

PLANCHES II ET III

INTRODUCTION.

Posés dans les voies, les rails d'acier éprouvent une usure ou diminution continue de leur contour extérieur.

Nous avons, dans l'exposé que nous devons faire, à rappeler toutes les causes tant intérieures qu'extérieures qui ont été signalées comme ayant à un degré quelconque de l'influence sur cette usure.

La diminution de contour se produit à la fois au bourrelet supérieur, à l'âme et à la partie inférieure, patin ou bourrelet. Elle est d'ordinaire plus faible dans les deux dernières parties, et les altérations de surface qui en résultent sont rarement assez prononcées pour déterminer le retrait des rails. Ce sont sans doute là les raisons pour lesquelles tous ceux qui se sont occupés de l'usure des rails d'acier n'ont envisagé que l'usure régulière du champignon de roulement.

Nous allons d'abord résumer quelques-uns des principaux articles et mémoires que les recueils techniques ont publiés à ce sujet. Nous nous occuperons ensuite de l'analyse des documents que les Administrations étrangères nous ont fait parvenir.

CHAPITRE I^{er}.

Usure régulière du champignon de roulement.

§ 1. — RÉSUMÉ DES PUBLICATIONS.

La *Revue générale des chemins de fer* a publié plusieurs articles dans lesquels l'usure régulière des rails d'acier est étudiée. Les plus complets sont dus à M. Coüard, inspecteur principal de la voie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée; ils ont paru dans les numéros de mars et de juin 1884. Dans le premier, M. Coüard considère les rails des voies en alignement et à faibles déclivités, et il déduit, des observations nombreuses faites sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée et dont il rend sommairement compte, les règles suivantes :

- 1° L'usure du rail en acier dur est de 1 millimètre pour 110,000 trains;
 - 2° Elle doit être rapportée au nombre de trains et non au tonnage;
 - 3° L'usure pour un même nombre de trains diminue quand l'âge des rails augmente; en d'autres termes, la résistance à l'usure augmente après l'enlèvement d'une première couche de 1 1/2 millimètre d'épaisseur;
 - 4° L'usure est plus forte sur la file de l'accotement;
 - 5° L'usure varie d'après la provenance;
 - 6° L'usure des rails en acier dur est plus lente que celle des rails en acier doux;
 - 7° Sur les parties en pleine voie en alignement, la loi de l'usure, correspondant à 110,000 trains, peut être représentée par la formule $y = 1 + ax$, dans laquelle y représente l'usure en millimètres, x la déclivité en millimètres par mètre, et a un coefficient convenablement déterminé.
- D'après les chiffres donnés par M. Coüard, ce coefficient, lorsque la déclivité ne dépasse pas 8 millimètres, est trois fois plus fort pour les pentes que pour les rampes, tandis que la différence serait beaucoup moindre et n'atteindrait pas 2 pour des déclivités plus fortes;
- 8° L'usure des rails sur les pentes aux abords des gares est plus grande qu'en pleine voie, et peut dans certains cas particuliers être 5.5 fois plus forte;
 - 9° Sur palier, l'usure est plus forte dans une courbe que dans un alignement droit.

Sur les fortes pentes, l'usure dans les parties courbes est plus faible que dans les parties droites; sur les rampes, l'usure est plus forte en courbe que dans les alignements.

L'usure comparée sur les deux files dans une courbe est plus forte sur la file du petit rayon, mais la différence est faible;



10° Dans les gares intermédiaires, l'usure des rails dépasse d'autant plus celle des rails de pleine voie qu'il y a plus de trains qui y arrêtent.

Les observations faites dans les six stations mentionnées au tableau de la page 321 du numéro de juin 1884, donnent pour résultat moyen une usure 3.6 fois plus rapide en gare qu'en pleine voie;

11° Dans les tunnels, une usure particulière des rails se produit par suite de l'oxydation, et elle est d'autant plus grande que le tunnel est plus humide et son aérage moins bien assuré.

La durée d'un rail d'acier dans un long tunnel est comprise entre huit et douze ans, quel que soit le trafic.

En analysant dans un article plus récent (*Revue générale*, avril 1886), les observations faites en Allemagne et consignées dans la statistique intitulée : *Dauer der Schiene*, 1879-1881, publiée par les soins de l'Union des chemins de fer allemands, M. Couïard ajoute aux règles indiquées ci-dessus les suivantes :

1° L'usure est d'autant plus grande que le moment d'inertie du rail est plus faible;

2° Elle augmente lorsque le nombre de traverses par kilomètre de voie diminue;

3° Les rails posés sur supports métalliques s'usent plus rapidement que ceux sur supports en bois.

Nous avons parlé d'abord des trois articles de M. Couïard, parce que nous croyons que ce soient les seuls dans lesquels la mesure de l'influence des différentes circonstances favorables à l'usure est exprimée en chiffres. Ils peuvent donc servir de première base à une discussion.

On remarque que M. Couïard ne parle pas de l'influence de la vitesse. Le tableau joint à l'article de M. Connesson (*Revue générale*, janvier 1884) sur l'usure des rails d'acier entre Paris et Bondy, prouve cependant que l'usure est plus forte, le nombre de trains restant le même, lorsque leur vitesse moyenne augmente. M. Connesson fait remarquer aussi que le tonnage n'est pas sans influence.

En Allemagne et en Autriche, l'usure des rails a fait l'objet d'études nombreuses.

Dans un article paru dans le sixième cahier de l'*Organ*, année 1886, M. Funck donne le résultat des observations auxquelles, sur la ligne de Cologne-Minden, on a soumis des rails des quatre espèces suivantes :

Rails en fer grenu;

— en acier cimenté;

Rails en acier puddlé;
— — Bessemer.

Les rails en acier Bessemer provenaient de trois usines différentes : Hoesch, Krupp et Hørde.

Des tableaux figurant dans cet article ressort la grande supériorité des rails en acier coulé sur ceux en acier puddlé ou cimenté.

Il ressort ensuite des mêmes tableaux que l'usure varie d'après la provenance.

Les deux postes d'observation dont il s'agit sont situés l'un à l'est, l'autre à l'ouest de la station d'Oberhausen, et, d'après les chiffres de M. Funck, une usure de 1 millimètre correspond au passage de 6,433,000 tonnes brutes pour les rails Hoesch, 6,777,000 tonnes pour les rails Krupp, et 7,228,000 tonnes pour les rails Hørde.

Nous reviendrons encore sur les postes d'Oberhausen ; ils sont établis, d'après nous, dans des conditions particulières qui font qu'on ne peut s'appuyer sur leurs résultats pour établir la durée des rails d'acier.

Statistiques du Verein. — L'Union (*Verein*) des chemins de fer allemands fait fournir tous les trois ans, par les diverses Administrations qui la composent, des renseignements relatifs à la marche de l'usure sur des postes d'observation convenablement choisis.

Ces renseignements sont publiés régulièrement ; malheureusement, le dépouillement de documents concernant près de cinq cents postes d'observation, et le classement systématique des résultats demandent un très grand travail et un temps fort long. Aussi, jusqu'à ce jour, il n'a encore paru que deux volumes. Le premier se rapporte à la période 1879-81 et embrasse trois ans, le deuxième volume comprend la période 1879-84, et embrasse six ans. Le troisième volume, qui sera relatif à la période 1879-87, ne tardera pas, paraît-il, à voir le jour. Il sera d'autant plus intéressant à consulter, que la précision semble beaucoup plus grande dans le second volume que dans le premier, et il est probable qu'au point de vue de l'exactitude, les chiffres du troisième pourront inspirer une confiance presque absolue.

Il faut bien admettre que quand il s'agit de mesurer des fractions de millimètre, des erreurs de quelques centièmes sont facilement commises ; mais elles ont d'autant moins d'importance sur le résultat final, qui consiste à déterminer le nombre de tonnes ou de trains correspondant à une usure de 1 millimètre, que les usures totales mesurées sont plus grandes.

Contrairement à ce que fait M. Colliard, les Administrations allemandes rap-

portent l'usure au tonnage, mais les renseignements qu'elles fournissent permettent d'apprécier plus ou moins l'influence de la nature du trafic; c'est-à-dire des trains de diverses catégories qui passent sur les rails en observation.

Les statistiques du *Verein* sont divisées en plusieurs parties.

Dans la première, elles donnent successivement pour chaque poste d'observation le profil et le tracé de la voie, le nombre de rails dont on a mesuré l'usure en hauteur et en surface, ainsi que les chiffres de ces usures. Des colonnes spéciales sont réservées pour indiquer la provenance des rails, leur section, leur poids, leur moment de résistance, leur résistance à l'allongement, la composition chimique, le nombre et l'espacement des appuis, le mode d'éclissage, les dates du premier et du dernier mesurage, le nombre de tonnes qui ont circulé sur le poste entre ces deux dates, le système de freins lorsque sur les pentes les trains circulent les freins plus ou moins serrés, le nombre moyen de trains par jour et leur vitesse moyenne.

Pour plus de facilité, on a réuni d'abord tous les postes dont les rails sont en acier coulé, ils sont au nombre de 457; les 275 premiers numéros sont ceux sur lignes à simple voie, les suivants sont sur des lignes à double voie.

Il y a ensuite 23 postes dont les rails, provenant presque tous de l'usine de Cairnsdorf, sont en fer avec champignon en acier Bessemer.

Enfin, le relevé mentionne 13 postes que les deux directions royales ayant leur siège à Cologne ont établis dans des conditions identiques, pour pouvoir apprécier les rails de différentes provenances ou obtenus au moyen de procédés différents de fabrication.

Dans la deuxième partie, on groupe dans une série de tableaux les différents postes dont les conditions de tracé et de profil sont semblables, et on déduit pour chaque groupe l'usure moyenne en hauteur et en surface par million de tonnes.

Dans la troisième partie, on trouve des tableaux donnant la moyenne de ceux de la partie précédente, et ensuite des tableaux indiquant le pour-cent des rails retirés dans les différents postes groupés par profil et par tracé, pendant toute la durée de la période d'observation.

Le volume se termine par une série de croquis donnant, pour un grand nombre de rails placés en observation, le profil tel qu'il résulte du mesurage, ce qui permet de se rendre compte de la manière dont l'usure se répartit sur le pourtour du champignon.

Des tableaux de la troisième partie, nous déduisons le tableau ci-après donnant, pour les différentes conditions de tracé et de profil, les nombres moyens de millions de tonnes dont le passage correspond à une usure en hauteur de 1 millimètre et à une usure en surface de 1 millimètre carré.

Tableau indiquant en millions de tonnes le poids brut dont le passage correspon

| INCLINAISON EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE. | | DANS LES ALIGNEMENTS | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | ∞ et 1,000 mètres. | | | 999 et 600 mètres. | | | 599 et 400 mètres | | |
| | | Simple voie. | Double voie | | Simple voie. | Double voie | | Simple voie. | Double voie | |
| | | | en rampe. | en pente. | | en rampe. | en pente. | | en rampe. | en pente. |
| 0 à 3 millimètres. | Hauteur. | 25.000 | 16.67 | | 14.3 | 16.67 | | 14.286 | " | |
| | Surface. | 0.571 | 0.370 | | 0.297 | 0.410 | | 0.298 | " | |
| | | (30) | (38) | | (9) | (2) | | (4) | " | |
| 3 à 4 — | Hauteur. | 33.33 | 33.33 | 33.33 | 25.00 | " | 16.67 | " | " | " |
| | Surface. | 0.840 | 1.124 | 0.950 | 0.610 | " | 0.370 | " | " | " |
| | | (9) | (1) | (8) | (1) | " | (2) | " | " | " |
| 4 à 5 — | Hauteur. | 20.00 | 33.33 | 20.00 | " | 25.00 | 20.00 | " | " | " |
| | Surface. | 0.383 | 1.160 | 0.454 | " | 0.533 | 0.385 | " | " | " |
| | | (1) | (3) | (3) | " | (1) | (2) | " | " | " |
| 5 à 7.5 — | Hauteur. | 5.882 | 12.500 | 9.091 | 10.00 | 12.50 | " | 11.111 | 11.111 | 5. |
| | Surface. | 0.138 | 0.265 | 0.204 | 0.176 | 0.178 | " | 0.215 | 0.214 | 0. |
| | | (9) | (17) | (18) | (2) | (2) | " | (2) | (1) | (1) |
| 7.5 à 10 — | Hauteur. | 6.667 | " | 11.111 | 4.672 | " | 7.692 | 7.143 | " | " |
| | Surface. | 0.138 | " | 0.143 | 0.093 | " | 0.170 | 0.146 | " | " |
| | | (24) | " | (4) | (8) | " | (1) | (6) | " | " |
| 10 à 15 — | Hauteur. | 7.692 | 16.67 | 8.333 | 8.333 | 12.50 | 11.111 | 7.143 | 7.143 | 10. |
| | Surface. | 0.193 | 0.450 | 0.184 | 0.249 | 0.334 | 0.260 | 0.174 | 0.211 | 0. |
| | | (43) | (6) | (13) | (19) | (4) | (4) | (19) | (3) | (5) |
| 15 à 20 — | Hauteur. | 7.143 | 5.55 | 2.857 | 6.25 | " | " | 6.667 | " | " |
| | Surface. | 0.153 | 0.121 | 0.062 | 0.130 | " | " | 0.139 | " | " |
| | | (15) | (4) | (3) | (3) | " | " | (5) | " | " |
| 20 à 25 — | Hauteur. | 3.226 | 5.882 | 4.00 | 3.226 | " | 6.667 | 4.444 | " | 4. |
| | Surface. | 0.071 | 0.121 | 0.078 | 0.060 | " | 0.158 | 0.255 | " | 0. |
| | | (7) | (2) | (2) | (1) | " | (4) | (1) | " | (1) |
| Inférieure à 25 milli- mètres. | Hauteur. | 7.143 | 11.111 | 2.273 | " | " | " | 7.143 | " | " |
| | Surface. | 0.103 | 0.267 | 0.053 | " | " | " | 0.117 | " | " |
| | | (3) | (2) | (4) | " | " | " | (1) | " | " |

usure en hauteur de 1 millimètre et en surface de 1 millimètre carré.

| ON EST COMPRIS ENTRE | | | | | | | | | OBSERVATIONS. |
|----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|---|
| 9 et 300 mètres. | | | 299 et 200 mètres. | | | Inférieur à 199 mètres. | | | |
| le | Double voie | | Simple voie. | Double voie | | Simple voie. | Double voie | | |
| | en rampe. | en pente. | | en rampe. | en pente. | | en rampe. | en pente. | |
| 0 | " | " | " | " | " | " | " | " | (*) Les chiffres entre paren- thèses indiquent le nombre de postes, dont ceux au-dessus sont les moyennes. |
| 3 | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| 44 | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| 61 | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | |
| 67 | " | " | " | " | 10.00 | " | " | " | |
| 66 | " | " | " | " | 0.140 | " | " | " | |
| | " | " | " | " | (2) | " | " | " | |
| 143 | 16.667 | 7.692 | 6.667 | " | " | " | " | " | |
| 175 | 0.403 | 0.177 | 0.164 | " | " | " | " | " | |
| 5' | (1) | (1) | (5) | " | " | " | " | " | |
| 163 | " | 2.632 | 4.545 | " | " | " | " | " | |
| 160 | " | 0.067 | 0.000 | " | " | " | " | " | |
| 7 | " | (1) | (4) | " | " | " | " | " | |
| 162 | " | 5.00 | 1.96 | " | 4.545 | 1.041 | 6.25 | " | |
| 169 | " | 0.118 | 0.044 | " | 0.101 | 0.026 | 0.130 | " | |
| 4 | " | (1) | (2) | " | (1) | (1) | (1) | " | |
| 161 | " | 2.325 | 5.882 | 20.00 | 3.704 | " | " | " | |
| 052 | " | 0.068 | 0.077 | 0.621 | 0.087 | " | " | " | |
| 5 | " | (1) | (2) | (2) | (2) | " | " | " | |

Ces moyennes ne dénotent pas une variation très régulière de l'usure à mesure que les rampes et pentes augmentent, ou que les rayons des courbes diminuent. Cela provient de ce que dans les tableaux de la deuxième partie, on renseigne indistinctement tous les postes dont les conditions de profil et de tracé sont semblables, et on n'a aucun égard aux autres conditions particulières, profil des rails, nombre des supports, action des freins, etc., etc.

En outre, les différentes moyennes s'appuient sur des nombres très variables de postes d'observation.

On ne peut donc comparer ces moyennes aux chiffres de M. Couard, dont les postes d'observation sont composés de rails de même profil et posés de la même manière.

Quoi qu'il en soit, il ressort de ce tableau :

1° Que l'usure est plus rapide sur les lignes à simple voie que sur celles à double voie, du moins pour toutes les déclivités ne dépassant pas 15 millimètres;

2° Que dans les lignes à double voie, les rampes n'ont sur l'usure qu'une influence assez faible, surtout si on la compare à celle des pentes de même inclinaison;

3° Que les courbes, si on ne considère que l'usure en hauteur, n'ont pas une influence bien marquée dans les parties en rampes des lignes à double voie, mais que leur influence ressort parfaitement lorsqu'on prend l'usure en surface.

Sur les parties à simple voie et les parties en pente des lignes à double voie, l'influence des courbes se manifeste encore, principalement lorsqu'on considère l'usure en surface; elle ressort cependant aussi, quoique moins bien, lorsqu'on recherche l'usure en hauteur;

4° Que sur les lignes où les rails sont posés sur longrines, l'usure est plus rapide que lorsqu'on a affaire à une voie sur supports discontinus.

Nous abandonnerons momentanément les statistiques du *Verein*, auxquelles nous aurons plusieurs fois recours dans notre exposé. Nous devons cependant signaler les renseignements que la Direction royale de la rive gauche du Rhin fournit au sujet de l'expérience faite par elle pour déterminer l'influence qu'exerce sur l'usure l'emploi de freins de diverses espèces. Le poste d'observation est établi entre Aix-la-Chapelle et Ronheide, sur une voie en pente de 1/38.

Par million de tonnes, l'usure a été de 1.79 millimètre en hauteur et de 97 millimètres carrés en surface, avec l'emploi de freins à patin en fer forgé.

Avec des freins à patin en acier fondu, on n'a constaté que les usures suivantes pour un million de tonnes :

0.10 millimètre en hauteur

5.4 millimètres carrés en surface.

Parmi les circonstances qui, à notre connaissance, ont encore été signalées comme pouvant avoir de l'influence sur l'usure, nous devons signaler la répartition du poids des rails entre les trois parties, le champignon, l'âme et le patin.

S'occupant des plaintes auxquelles donnait lieu la rapidité avec laquelle les rails d'acier en Amérique s'usaient, M. Sandberg, dans un article intitulé : *On rail joints and steel rails*, préconise de distribuer également la matière de façon que la section de chaque partie soit le tiers de la section totale (¹).

En Amérique, la question de la forme du rail au point de vue de l'usure est également à l'ordre du jour. La *Railroad Gazette* du 12 avril 1889 publie un article intitulé : *Balanced rails*, dans lequel on préconise de donner aux rails une section permettant d'avoir presque autant de matière dans le patin que dans le champignon.

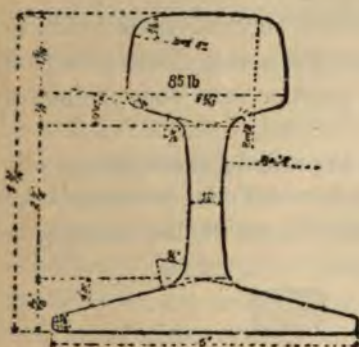


Fig. 1.

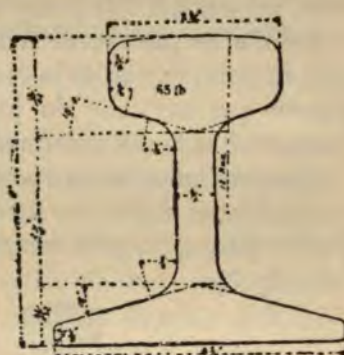


Fig. 2.

(¹) *Minutes of Proceedings of the Inst. C. E.*, vol. LXXXIV, session 1885-1886, p. 11.

M. Sandberg n'est actuellement plus de cet avis. Au moment de faire imprimer notre rapport, nous lisons dans l'*Engineering* du 26 juillet 1889 un article sur le nouveau rail Goliath que M. Sandberg expose actuellement à l'exposition du Champ de Mars. Son ancien Goliath, qui date à peine de trois ans, a été modifié, et voici comment les poids se répartissent dans l'ancien et le nouveau modèle :

| | Nouveau modèle. | Ancien modèle. |
|----------------------|-----------------|----------------|
| Champignon | 45.5 | 43 |
| Âme | 22 | 22 |
| Patin | 32.5 | 35 |

C'est-à-dire qu'il a diminué le patin pour renforcer la tête, qui a presque deux fois le poids de l'âme.

Déjà plusieurs Compagnies ont adopté des rails de profil équilibré (*balanced*), et il sera intéressant de connaître les résultats de l'essai que l'une d'elles, la « Chicago, Burlington, Quincy Railroad », va faire à ce sujet. Elle se propose de mettre en œuvre, dans des conditions identiques de tracé, de profil et de circulation, 1,000 tonnes de chacun des deux rails dont les figures 1 et 2 représentent le profil. Ces rails ont même poids : 85 livres (environ 42 kilogrammes).

Le rail de la figure 1 est proposé par M. Mac-Clure, ingénieur en chef de la voie à la Compagnie, et celui de la figure 2 par M. Delano, son inspecteur des rails (*rail inspector*). La matière dans ces types se répartit de la façon suivante :

| | Champignon. | Ame. | Patin. |
|----------------|-------------|-------|--------|
| N° 1 | 47.51 | 18.95 | 33.54 |
| N° 2 | 41 | 21.46 | 37.54 |

Dans cet article du 12 avril, l'organe américain fait aux rails Vignoles à champignon très renforcé à peu près le même reproche que M. Sandberg. Il fait remarquer que pendant le laminage, le patin est en partie refroidi alors que le champignon est encore au blanc, et lorsque le champignon se refroidit à son tour, le patin est déjà à une très faible température.

Ensuite, les passages de la barre dans les cannelures successives ne produisent pas, au point de vue de la compression, le même effet sur la matière du champignon que sur celle du patin. Le grain du premier sera donc moins serré (*compacted*) et le rail plus mou.

Quant à l'influence que peut avoir sur l'usure le profil du champignon, elle a été également agitée en Amérique. Abstraction faite des congés raccordant les parties planes, on peut ranger en trois catégories les profils des champignons (voir fig. 3).



Fig. 3.

- 1° Le profil rectangulaire. Ce sont les plus nombreux ;
- 2° Les profils trapézoïdaux, dont le grand côté est en bas ;
- 3° — — — — — haut.

Ces trois profils se rencontrent nombreux en Amérique.

M. Mathias Forney, dans un mémoire lu devant l'Association des constructeurs de wagons (*Master car-builders' Association*), le 14 juin 1884, examinant la façon dont s'usent les rails et les bandages, conseille aux ingénieurs de la

voie des différentes Compagnies américaines de s'entendre pour adopter un profil de rail type dont la partie supérieure, d'un rayon de six pouces (152 millimètres) au moins, soit raccordée aux faces verticales latérales à l'aide de courbes d'un demi-pouce (12^{mm}7) de rayon.

La Compagnie du Pennsylvania Railroad, s'inspirant de ces conseils, a fait, au point de vue du profil, l'essai suivant :

Ses rails avant 1884 ne pesaient que soixante livres par yard (à peu près 30 kilogrammes). Les raccords entre les faces verticales et la surface de roulement étaient tracés avec des courbes de 11/32 pouce (8^{mm}73) de rayon.

En 1884, elle adopta des rails de 70 livres et en 1885, des rails de 75 livres. Dans ces deux rails, les rayons des courbes de raccordement sont portés à 15^{mm}88 et cela dans le but de faire épouser mieux par le rail la forme du bandage. Des rails des deux profils mis en observation dans des conditions identiques ont fait constater une usure latérale très considérable dans les rails des profils renforcés, alors qu'il n'y avait guère que des traces dans les rails anciens.

Nous réparons ici une omission, que nous avons d'ailleurs faite volontairement, en disant que dans l'article de mars 1884 M. Couard a démontré qu'il convient de ne pas donner un trop grand bombement à la surface supérieure du rail.

En Italie, on n'a guère fait d'observations sur l'usure des rails d'acier en voie courante.

Le n° 9 de 1886 de l'*Oesterreich Eisenbahnzeitung* donne à propos des lignes de ce pays les renseignements suivants. Sur les lignes à pente faible et à courbe facile, l'usure de 1 millimètre correspond presque à 15 millions de tonnes. Dans les tunnels, elle est notablement supérieure, ainsi qu'il résulte du tableau ci-dessous qui donne, pour quatre postes d'observation dont un en rampe de 27 millimètres, les usures constatées et celles qu'on aurait dû avoir si la formule : 1 millimètre pour 15 millions de tonnes était applicable.

| Número d'ordre. | SECTION D'OBSERVATION. | Déclivité (millimètres par mètre). | Usure mesurée en millimètres. | Usure calculée en supposant 1 millimètre pour 15,000,000 de tonnes. | Différence. |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|--------------|
| | | | | Millimètres. | Millimètres. |
| 1 | Pleine voie | 27 | 2.72 | 2.66 | 0.06 |
| 2 | Tunnel de l'Ariano | 15 | 3.55 | 2.00 | 1.55 |
| 3 | — de Starza et Cristina | 17 | 3.29 | 2.22 | 1.07 |
| 4 | — de San-Domenico | 22 | 6.40 | 2.78 | 3.65 |

On voit que l'influence des déclivités est faible lorsque les freins n'agissent pas, tandis que celle des tunnels est très grande.

En Angleterre, on n'a guère fait d'observations pour analyser les causes particulières qui peuvent influencer l'usure des rails.

Nous ferons cependant quelques emprunts au remarquable mémoire : *On the Permanent Way of Railways*, lu par M. Price Williams à l'Association des ingénieurs civils d'Angleterre. (*Proceedings*, vol. XLVI, an 1875-1876, p. IV.)

En 1875, on a constaté que les rails de la station de Crewe, sur le réseau du London and North-Western, pesant 75 livres par yard (32 kilogrammes au mètre courant), posés dans la voie de réception des trains de voyageurs, s'usaient en moyenne de 1 millimètre par 5,048,000 tonnes. M. Webb, l'éminent ingénieur du service de la traction de cette Compagnie, a fait prendre des moules de plusieurs rails pour pouvoir montrer comment cette usure variait d'un rail à l'autre, et nous avons cru qu'il n'était pas inutile de reproduire les croquis qui sont annexés au rapport de M. Price Williams.

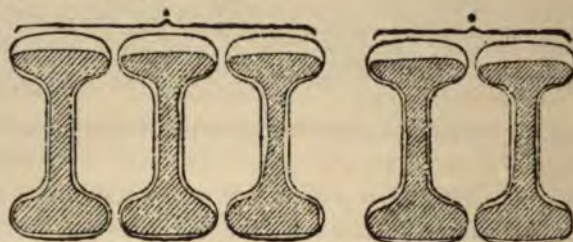


Fig. 4

Fig. 5

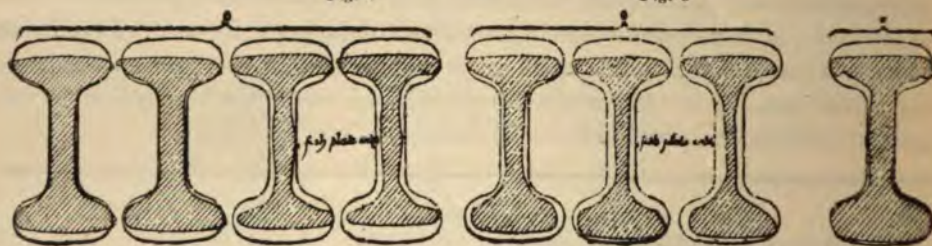


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Les rails posés en 1863 ont, sauf le rail E (fig. 8), été retournés en 1866, et, au bout de douze ans de service, on avait constaté que l'usure moyenne de 1 millimètre correspondait :

| | |
|---|-------------------|
| Pour les rails A (fig. 4) au passage de | 7,645,800 tonnes. |
| — B (fig. 5) — | 7,645,800 — |
| — C (fig. 6) — | 3,276,761 — |
| — D (fig. 7) — | 5,402,142 — |
| — E (fig. 8) — | 5,878,725 — |

M. Price Williams attribue cette grande diversité dans l'usure à ce que les fabricants à l'origine ne pouvaient pas fournir des rails absolument homogènes.

Dans ce même article, M. Price Williams parle de l'usure subie par un rail du Great Northern, situé au pied de la pente de 5 millimètres près de la gare de Hornsey. La diminution de hauteur au bout de 9 ans et 3 mois avait été trouvée être de 3^{mm}81. Ce rail avait supporté le passage de 294,359 trains avec un poids brut de 67,586,000 tonnes.

Une usure de 1 millimètre correspondait au passage de 77,200 trains ou de 17,729,000 tonnes.

L'espoir que M. Price Williams exprimait en 1876 que les fabricants de rails d'acier parviendraient à produire des barres dont la qualité serait telle que toutes résisteraient au moins autant que celles qui avaient donné à cette époque les meilleurs résultats connus, ne semble pas encore à la veille de se réaliser. Non seulement l'acier est différent d'une coulée à l'autre, il n'est même souvent pas homogène dans un rail; et on sait que les épreuves auxquelles on soumet des éprouvettes prises dans un rail peuvent donner des résultats différents suivant qu'on les prend dans l'âme, le patin ou le bourrelet.

Nous croyons pouvoir borner à ce qui précède l'analyse des articles. Ils permettent de se rendre compte des causes multiples indiquées comme ayant une influence. Ils nous ont servi de guide pour la rédaction du questionnaire que nous avons envoyé, par l'intermédiaire de notre Administration, à tous les chemins de fer adhérents. Nous avons cru cependant devoir ajouter dans ce questionnaire quelques points. C'est ainsi que notre expérience personnelle nous avait permis de constater que l'atmosphère ambiante et les causes qui en altèrent la transparence peuvent avoir une certaine influence sur la durée des rails. De même des observations faites sur le réseau de l'État belge attribuent au ballast une influence assez considérable.

Nous croyons utile de reproduire ci-dessous le questionnaire.

§ II. — QUESTIONNAIRE ENVOYÉ AUX ADMINISTRATIONS ADHÉRENTES.

A. Usure régulière du champignon de roulement.

- 1° Profil transversal des rails;
- 2° Aire de la section totale du rail et grandeur respective des sections des trois parties, bourrelet, âme, patin, la section entière étant prise pour unité;
- 3° Module de flexion $\frac{I}{V}$ (I moment d'inertie; V distance de l'axe neutre au sommet du champignon de roulement);

- 4° Poids par mètre courant et longueur du rail ;
- 5° Inclinaison du rail dans la voie ;
- 6° Profil des bandages, tout au moins le degré de leur conicité ;
- 7° Nature du métal (acier coulé, acier de cémentation, etc., etc.). Compositions chimiques, conditions d'allongement, de striction et de résistance au choc ;
- 8° Dureté relative du métal du bandage et des rails ;
- 9° Nature des appuis (métalliques ou en bois), longrines ou traverses, espacement des appuis, système de joints (appuyés ou suspendus) ;
- 10° Système d'éclissage ;
- 11° Nature, épaisseur et qualité (au point de vue de la perméabilité) du ballast ;
- 12° Conditions climatiques et météorologiques de la région ;
- 13° Conditions d'exposition du poste (tranchées humides, traversées de forêts épaisses et hautes, remblai élevé, terrain sec et de niveau, etc., etc.) ;
- 14° Profil et tracé de la voie dans l'étendue du poste d'observation.

A. Sur les lignes à double voie, on peut avoir :

a. Des voies de niveau et en alignement.

- b. — en rampe —
- c. — en pente —
- d. — de niveau et en courbe.
- e. — en rampe et —
- f. — en pente et —

Il convient de distinguer, pour les postes en alignement, les rails de la file de l'entre-voie de ceux de la file de l'accotement, et pour les postes en courbe, les rails de la file intérieur de ceux de la file surhaussée.

B. Sur les lignes à simple voie, on peut avoir :

a'. Des voies de niveau et en alignement.

- b'. — inclinées et —
- c'. — de niveau et en courbe.
- d'. — inclinées et —

(Pour les sections inclinées, on indiquera le nombre, le tonnage et les vitesses des trains qui les remontent en rampe, ensuite le nombre, le tonnage et la vitesse des trains qui les descendent en pente.)

Pour les sections en courbe, on indiquera la grandeur du dévers et le surécartement ;

15° Les usures constatées (à différentes époques si possible), avec indication du nombre et du tonnage des trains qui ont circulé entre deux mesurages consécutifs. Il est désirable de donner séparément :

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Le nombre et le tonnage des trains express de voyageurs. | | |
| — | — | — marchandises. |
| — | — | — ordinaires de voyageurs. |
| — | — | — marchandises. |

et de faire connaître la vitesse de marche en pleine voie des différentes catégories de trains ;

16° La charge maxima sur les essieux moteurs des machines pour trains express, pour trains ordinaires et pour trains lourds de marchandises ;

17° Les appareils dont sont munies les locomotives pour augmenter l'adhérence et empêcher le patinage des roues lorsqu'il s'agit de sections d'observation sur lesquelles les mécaniciens doivent fréquemment recourir à ces appareils ;

18° L'indication du système de freins des locomotives et du matériel roulant pour les sections sur lesquelles les trains circulent ordinairement freins serrés ; si possible, donner la partie du tonnage sur laquelle l'action des freins s'applique, c'est-à-dire pour laquelle le roulement est remplacé par le glissement.

A ce point de vue, il convient, le cas échéant, de faire connaître les résultats auxquels on est arrivé sur les fortes déclivités, en interdisant aux mécaniciens de descendre les freins serrés et en prescrivant l'emploi de la contre-vapeur.

Nota. Pour les parties courbes sur lesquelles des usures latérales importantes sont constatées, il convient de les renseigner spécialement.

B. — *Usure de l'âme.*

Pour les observations concernant la manière dont l'âme s'use, il convient, semble-t-il, de donner les renseignements repris sous les n° 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18 du littéra précédent ainsi que les moyens employés pour combattre le cheminement des rails, et de renseigner d'une façon distincte la diminution d'épaisseur trouvée au milieu de la longueur des rails, et celle trouvée aux abouts sous les éclisses.

C. — *Usure du patin ou bourrelet inférieur.*

Pour les observations concernant l'usure du patin, il convient également de

donner les renseignements repris sous les n^{os} 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 et 16 du premier littéra.

De plus, on donnera la manière dont le rail repose et est fixé sur les appuis, les moyens employés pour combattre le cheminement et la hauteur de la couche de ballast au-dessus de la surface supérieure des appuis.

Il serait utile de savoir si les usures constatées au droit des appuis, au milieu des portées et aux abouts sont les mêmes.

§ III. — ANALYSE DES DOCUMENTS REÇUS DES ADMINISTRATIONS ADHÉRENTES.

Les documents qui nous sont parvenus en réponse à notre questionnaire sont trop nombreux pour être publiés tous *in extenso* à la suite de notre exposé; nous ne le ferons que pour ceux qui présentent un réel intérêt. Nous nous proposons de donner ici de tous un résumé succinct. Nous procéderons à cette analyse en suivant l'ordre alphabétique des pays.

ANGLETERRE.

Great Northern. — Le rail pèse 42.16 kilogrammes, il a 9.144 mètres de longueur et repose sur douze appuis.

On compte que la durée des rails d'acier est en moyenne pour tout le réseau d'environ quinze ans. D'après le compte rendu de la Compagnie pour 1887-1888, chaque kilomètre de simple voie de ce réseau a été en moyenne parcouru, du 1^{er} août 1887 au 1^{er} août 1888, par 15,214 trains de voyageurs et de marchandises. On trouverait d'après cela, si on pouvait supposer que le trafic n'augmente pas, que chaque kilomètre aurait été parcouru en quinze ans par 228,410 trains.

Les rails étant retirés lorsqu'ils ont perdu en hauteur $3/8$ pouces (9.5 millimètres environ) l'usure paraît rapide: 1 millimètre pour 24,000 trains; mais le nombre de trains express sur la plupart des lignes est considérable et plusieurs lignes ont des rampes atteignant 25 millimètres par mètre.

Le Great Western et le Midland n'ont pas fait d'observations régulières.

AUTRICHE-HONGRIE.

Nous avons reçu des renseignements de la Südbahn, du Kaiser Ferdinand Nordbahn, de la Nordwestbahn, de l'État hongrois et de la Société privilégiée Austro-Hongroise des chemins de fer de l'État.

Nous publions plus loin, annexes I à VII, les tableaux qui étaient joints aux

notes des quatre premières Administrations, et qui résument les observations que ces Administrations ont recueillies sur les différents postes qu'elles ont établis.

Nous en ferons ressortir les faits les plus saillants.

Südbahn. — Si on prend, annexe V, les postes placés en regard dans les lignes à double voie et si on les compare deux à deux, c'est-à-dire, 4 à 5, 6 à 8, 7 à 9, 10 à 11, 13 à 14, on voit que l'usure en surface dans les postes en rampe est deux à cinq fois plus lente que dans les postes de la voie opposée en pente.

Nous ne savons à quelle cause il faut attribuer que le poste n° 1, en pente de 25 millimètres, donne une usure notablement moindre que les autres.

Si on en fait abstraction, et si on prend les postes 4, 14, 15, 16, dont les pentes sont comprises entre 19.6 et 25 millimètres, on constate que la résistance à l'usure y est presque la même; l'usure de 1 millimètre correspond pour ces postes respectivement à 2.48, 2.23, 2.33 et 2.61 millions de tonnes.

Les chiffres relatifs aux rails des voies opposées, c'est-à-dire en rampe, sont loin d'être aussi constants; ils sont 6.13, 4.13, 9.62 et 20.83. Le plus faible, 4.13, est celui d'un poste en alignement; le plus fort, 20.13, se rapporte à un poste en courbe de 284 mètres.

L'influence de la raideur des courbes ne se dénote donc pas pour les postes en rampe; elle se dénote, mais en sens inverse, dans les postes en pente: ce qui concorde avec les résultats constatés par M. Coüard.

Dans les parties à pentes et rampes plus faibles, l'influence des courbes se constate dans son véritable sens.

Elle ressort bien clairement, si on compare les postes en courbe 6, 8, 10, 11, 17 aux postes en alignement 7, 9, 12 et 18 dont les déclivités sont les mêmes, 11 à 12 millimètres.

L'usure des rails des premiers postes dépasse notablement celle des rails des seconds. On voit de plus que sur les pentes, l'influence des courbes est plus grande que sur les rampes.

Les chiffres des tableaux de la Südbahn se trouvent également dans la statistique du Verein pour 1879 à 1884. En consultant cette statistique, nous y trouvons la composition chimique des rails de différents postes. Nous la reproduisons ci-dessous :

| | Poste 1. | Postes 2 à 5. | Postes 6 à 13. | Postes 14 à 16. | Postes 17 et 18. |
|----|----------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| C | 0.370 | 0.440 | 0.310 | 0.370 | 0.360 |
| Mn | 0.032 | 0.430 | 0.220 | 0.550 | 0.300 |
| Si | traces | 0.056 | 0.024 | 0.030 | 0.042 |
| P | 0.084 | 0.100 | 0.076 | 0.128 | 0.100 |
| S | traces | 0.074 | 0.027 | traces | |

Les rails des postes 2 à 16 et 14 à 16 renferment le plus d'éléments étrangers; ce sont ceux qui ont éprouvé les usures les plus grandes. On arrive donc pour la Südbahn à une conclusion contraire à celle à laquelle M. Couïard est arrivé pour le Paris-Lyon-Méditerranée.

Ajoutons que, d'après la statistique du Verein, les freins fonctionnent sur tous les postes en pente des lignes à double voie et sur les deux postes en simple voie.

Pour terminer ce qui a rapport à la Südbahn, disons que d'après la note à laquelle le tableau est annexé, on a constaté que l'usure des rails est plus rapide sur les sections *en vallée* (Thalgeleise), que sur celles des plateaux (Bergeleise), et que dans les courbes, les rails de la file extérieure s'usent plus que ceux de la file intérieure.

Kaiser Ferdinand Nordbahn. — Cette Compagnie nous a fait parvenir des tableaux donnant l'usure de rails dans les différentes sections d'observation, établies tant sur les lignes à simple voie que sur les lignes à double voie de son réseau. (Pl. II, fig. 2.)

Les sections d'observation sont au nombre de 29, dont 24 sur lignes à double voie.

Les mesurages ont porté sur 589 rails en double voie et 214 en simple voie, soit près de 800 rails en tout.

Ces tableaux ont donc une très grande importance; ils nous permettent de voir si les résultats obtenus se rapprochent des déductions auxquelles M. Couïard est arrivé.

Nous les reproduisons en annexes tels que nous les avons reçus, mais à l'aide des renseignements qui s'y trouvent, nous composerons d'abord les deux tableaux ci-contre, dans lesquels nous avons fait le classement des rails mesurés, d'après le profil et le tracé des sections dont ils font partie.

TABLEAU

**donnant l'usure des rails d'acier sur les postes des lignes à double voie
du réseau Kaiser Ferdinand**

Tableau donnant l'usure des rails d'acier sur

| NUMÉRO D'ORDRE. | NUMÉRO DU POSTE DU RELÈVÉ DE L'ADMINISTRATION | INCLINAISON DE LA VOIE A L'EMPLACEMENT DES RAILS MESURÉS. | RAYON DE LA COURBE A | LE PASSAGE D'UN MILLION DE TONNES BRUTES A PRODUIT UNE USURE SUR | | | | NOMBRE DE BRUTES C à une usure moyenne de 1 millim. en hauteur pour les 2 rails |
|---|---|---|----------------------------|---|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | | rail extérieur | | rail intérieur | | |
| | | | | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | |
| 1 | 2 | Palier. | ∞ | 0.022 | 0.78 | 0.020 | 0.84 | 47,403 |
| 2 | 6 | Id. | alignement. | 0.022 | 0.84 | 0.026 | 1.09 | 40,564 |
| 3 | 9 | Id. | | 0.012 | 0.59 | 0.010 | 0.34 | 89,234 |
| 4 | 13 | Id. | | 0.030 | 1.41 | 0.028 | 0.83 | 33,967 |
| 5 | 15 | Id. | | 0.031 | 1.23 | 0.036 | 1.52 | 29,797 |
| 6 | 2 | Id. | 1138 | 0.020 | 1.019 | 0.029 | 1.06 | 41,380 |
| 7 | 4 | Id. | 1517 | 0.022 | 0.96 | 0.022 | 0.68 | 45,000 |
| Moyenne pour les rails en palier. | | | | | | | | 46,734 |
| 8 | 11 | Rampe de $i=00\left(\frac{1}{1000}\right)$ | ∞ | 0.032 | 1.29 | 0.026 | 1.23 | 35,514 |
| 9 | 11 | Id. id. | 1617 | 0.03 | 1.50 | 0.033 | 1.50 | 29,276 |
| 10 | 15 | Id. $2^{m=22}\left(\frac{1}{450}\right)$ | ∞ | 0.027 | 1.05 | 0.035 | 1.00 | 38,584 |
| 11 | 15 | Id. $2^{m=50}\left(\frac{1}{100}\right)$ | " | 0.021 | 0.82 | 0.020 | 0.73 | 48,298 |
| 12 | 3 | Id. $4^{m=60}\left(\frac{1}{250}\right)$ | " | 0.014 | 0.41 | 0.020 | 0.72 | 58,715 |
| 13 | 3 | Id. id. | 949 | 0.040 | 1.53 | 0.038 | 2.2 | 25,777 |
| 14 | 10 | Id. id. | ∞ | 0.021 | 0.73 | 0.022 | 0.79 | 46,579 |
| 15 | 10 | Id. id. | 1138 | 0.045 | 3.01 | 0.036 | 1.25 | 24,067 |

à double voie du réseau Kaiser Ferdinand.

| BASES CORRESPONDANT | | TONNAGE SUPPORTÉ. | NOMBRE DE TRAINS SUPPORTÉS. | OBSERVATIONS. |
|---------------------|---|----------------------|-----------------------------------|---------------|
| P K m. | à une usure moyenne en surface pour les 2 rails de 1 mill. carré. | | | |
| | 2077.0 | 41,794 | 70,054 | |
| | 2156.0 | 23,852 | 59,427 | |
| | 4222.0 | 31,237 | 61,537 | |
| | 1663.0 | 23,607 | 42,914 | |
| | 1211.0 | 36,948 | 61,537 | |
| | 1621.0 | 41,794 | 70,054 | |
| | 3573.0 | 23,852 | 59,427 | |
| | 2300.0 | " | " | |
| | 1320.3 | 43,767 | 72,590 | |
| | 1118.9 | 43,767 | 72,590 | |
| | 1633.4 | 36,948 | 61,537 | |
| | 2139.7 | 36,948 | 61,537 | |
| | 2951.3 | 41,688 | 70,164 | |
| | 901.2 | 41,688 | 70,164 | |
| | 2228.8 | 41,688 | 70,164 | |
| | 789.9 | 41,688 | 70,164 | |

| NUMÉRO D'ORDRE. | NUMÉRO DU POSTE DU RELEVÉ DE L'ADMINISTRATION. | INCLINAISON DE LA VOIE A L'EMPLACEMENT DES RAILS MESURÉS. | RAYON DE LA COURBE A | LE PASSAGE D'UN MILLION DE TONNES BRUTES A PRODUIT UNE USURE SUR | | | | NOMBRE DE DE 3 BRUTES COM A UNE USURE MOYENNE DE 1 MILLIM. EN HAUTEUR POUR LES 2 RAILS. |
|--|--|---|----------------------------|---|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | | rail extérieur | | rail intérieur | | |
| | | | | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | |
| 16 | 15 | Rampe de 4°00 $\left(\frac{1}{250}\right)$ | ∞ | 0.020 | 0.80 | 0.026 | 1.10 | 48,298 |
| 17 | 22 | Id. 5°55 $\left(\frac{1}{180}\right)$ | ∞ | 0.025 | 0.58 | 0.030 | 0.53 | 44,345 |
| 18 | 22 | Id. id. | 1,745 | 0.037 | 2.11 | 0.025 | 0.53 | 32,322 |
| 19 | 21 | Id. 5°71 $\left(\frac{1}{175}\right)$ | ∞ | 0.022 | 0.63 | 0.015 | 0.39 | 58,806 |
| 20 | * | Id. id. | 1,328 | 0.028 | 1.05 | 0.022 | 0.60 | 39,554 |
| 21 | 5 | Id. 6°22 $\left(\frac{1}{100}\right)$ | ∞ | 0.031 | 1.43 | 0.035 | 1.31 | 29,970 |
| 22 | * | Id. 6°07 $\left(\frac{1}{150}\right)$ | 1,612 | 0.028 | 1.06 | 0.037 | 1.80 | 30,897 |
| 23 | * | Id. id. | ∞ | 0.040 | 1.67 | 0.032 | 1.41 | 27,565 |
| 24 | * | Id. id. | 1,726 | 0.038 | 1.57 | 0.035 | 1.38 | 27,496 |
| 25 | 20 | Id. id. | ∞ | 0.025 | 0.79 | 0.028 | 0.71 | 37,450 |
| 26 | * | Id. id. | 1,754 | 0.041 | 2.11 | 0.031 | 0.82 | 27,486 |
| Usure moyenne des rails situés en rampe et en alignement | | | | | | | | 43,056 |
| — — — et en courbe. | | | | | | | | 29,672 |
| R | | | | | | | | |
| 27 | 12 | Pente de 0°44 $\left(\frac{1}{2500}\right)$ | ∞ | 0.025 | 0.86 | 0.030 | 0.92 | 35,768 |
| 28 | 11 | Id. 1°00 $\left(\frac{1}{1000}\right)$ | 1,517 | 0.030 | 1.50 | 0.038 | 1.50 | 29,276 |
| 29 | 14 | Id. id. | 728 | 0.047 | 1.71 | 0.065 | 3.56 | 17,790 |
| 30 | 16 | Id. 1°25 $\left(\frac{1}{800}\right)$ | ∞ | 0.025 | 0.96 | 0.026 | 0.84 | 39,011 |
| 31 | 13 | Id. id. | ∞ | 0.022 | 0.84 | 0.022 | 0.75 | 41,906 |

| MARQUE CORRESPONDANT | | TONNAGE | NOMBRE | OBSERVATIONS. |
|--|---|-----------|-------------------------|---------------------------------|
| ANNEE ou autre marque P.M.B. | à une usure moyenne en surface pour les 2 rails de 1 mill. carré. | SUPPORTÉ. | DE TRAINS SUPPORTÉS. | |
| (Suite.) | | | | |
| | 2139.7 | 36,948 | 61,537 | |
| | 5211.2 | 14,822 | 42,914 | |
| | 2196.8 | 14,822 | 42,914 | |
| | 5702.9 | 14,833 | 42,943 | |
| | 3018.2 | 14,833 | 42,943 | |
| | 2065.0 | 14,935 | 42,888 | |
| | 2006.9 | 14,935 | 42,888 | |
| | 1861.9 | 14,935 | 42,888 | |
| | 1944.6 | 14,935 | 42,888 | |
| | 3805.8 | 14,980 | 42,873 | |
| | 1927.7 | 14,980 | 42,873 | |
| | 2827.04 | " | " | |
| | 1738.03 | " | " | |
| 100. | | | | |
| | 2779.9 | 23,607 | 58,578 | |
| | 1118.8 | 43,767 | 72,500 | |
| | 638.5 | 36,914 | 62,070 | Section où les freins agissent. |
| | 2750.9 | 21,261 | 52,606 | |
| | 3127.4 | 23,607 | 58,747 | |

| NUMÉRO D'ORDRE. | NUMÉRO DU POSTE DU RELÈVE DE L'ADMINISTRATION. | INCLINAISON DE LA VOIE A L'EMPLACEMENT DES RAILS MESURÉS. | RAYON DE LA COURBE A | LE PASSAGE D'UN MILLION DE TONNES BRUTES A PRODUIT UNE USURE SUR | | | | NOMBRE DE MILLIERS DE TONNES BRUTES CORRESPONDANT | |
|-----------------|--|---|----------------------------|---|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | | | rail extérieur | | rail intérieur | | à une usure moyenne de 1 millim. en hauteur pour les 2 rails. | à une usure moyenne de 1 millim. en hauteur pour les 2 rails. |
| | | | | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | | |
| Rails d | | | | | | | | | |
| 32 | 12 | Pente de 2°00 $\left(\frac{1}{500}\right)$ | 1,138 | 0.028 | 1.02 | 0.029 | 0.96 | 35,560 | 1.0 |
| 33 | 14 | Id. 2°38 $\left(\frac{1}{4.0}\right)$ | ∞ | 0.045 | 1.80 | 0.046 | 1.52 | 22,104 | 0.6 |
| 34 | " | Id. id. | 728 | 0.059 | 2.31 | 0.054 | 2.46 | 17,704 | 0.4 |
| 35 | " | Id. id. | 750 | 0.083 | 5.02 | 0.049 | 1.88 | 15,191 | 0.3 |
| 36 | 1 | Id. 3°01 $\left(\frac{1}{320}\right)$ | 1,328 | 0.020 | 1.13 | 0.027 | 1.02 | 42,216 | 0.9 |
| 37 | " | Id. id. | 1,138 | 0.022 | 1.10 | 0.020 | 1.02 | 39,243 | 0.9 |
| 38 | " | Id. id. | ∞ | 0.026 | 1.05 | 0.024 | 0.91 | 39,801 | 1.0 |
| 39 | 14 | Id. 3°27 $\left(\frac{1}{306}\right)$ | ∞ | 0.035 | 1.61 | 0.037 | 1.55 | 20,556 | 0.6 |
| 40 | " | Id. id. | 1,517 | 0.040 | 1.56 | 0.045 | 1.69 | 23,437 | 0.6 |
| 41 | 24 | Id. id. | ∞ | 0.030 | 1.10 | 0.027 | 1.00 | 34,473 | 0.9 |
| 42 | " | Id. id. | 750 | 0.051 | 4.11 | 0.054 | 2.00 | 19,382 | 0.3 |
| 43 | " | Id. id. | 1,517 | 0.038 | 2.19 | 0.032 | 1.83 | 28,568 | 0.5 |
| 44 | 2 | Id. 3°33 $\left(\frac{1}{300}\right)$ | ∞ | 0.021 | 0.82 | 0.026 | 1.18 | 40,577 | 0.9 |
| 45 | 4 | Id. id. | ∞ | 0.026 | 0.82 | 0.027 | 0.80 | 37,562 | 1.0 |
| 46 | 1 | Id. 3°04 $\left(\frac{1}{275}\right)$ | ∞ | 0.018 | 0.86 | 0.017 | 0.60 | 56,343 | 1.3 |
| 47 | " | Id. id. | 1,328 | 0.023 | 1.80 | 0.027 | 0.92 | 39,708 | 0.7 |
| 48 | 14 | Id. 3°70 $\left(\frac{1}{270}\right)$ | ∞ | 0.040 | 1.57 | 0.041 | 1.61 | 24,528 | 0.6 |
| 49 | " | Id. id. | 750 | 0.059 | 2.46 | 0.058 | 2.25 | 17,833 | 0.4 |
| 50 | " | Id. id. | 1,517 | 0.040 | 1.64 | 0.040 | 1.52 | 25,026 | 0.6 |

| LES TRAINS CORRESPONDANT | | TONNAGE SUPPORTÉ | NOMBRE DE TRAINS SUPPORTÉS. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---------------------|-----------------------------------|---------------|
| USURE DES JAMBES DES RAILS. | À une usure moyenne en surface pour les 2 rails de 1 mill. carré. | | | |

| | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|---|
| mètres. (Suite.) | | | | |
| 67 | 2506.0 | 23,607 | 58,578 | |
| 67 | 1014.7 | 36,914 | 62,070 | Section où les freins agissent. |
| 70 | 704.9 | 36,914 | 62,070 | — — |
| 63 | 457.7 | 36,914 | 62,070 | — — |
| 62 | 1507.4 | 41,794 | 70,054 | |
| 78 | 1584.8 | 41,794 | 70,054 | |
| 77 | 1706.1 | 41,794 | 70,054 | |
| 55 | 1064.4 | 36,914 | 62,070 | Section où les freins agissent partiellement. |
| 66 | 1034.2 | 36,914 | 62,070 | Section où les freins agissent. |
| 72 | 1504.4 | 32,853 | 55,000 | — |
| 65 | 548.0 | 32,853 | 55,000 | |
| 65 | 900.5 | 32,853 | 55,000 | |
| 64 | 1673.9 | 41,794 | 70,054 | Tranchée humide de 3 mètres. |
| 66 | 2915.9 | 23,852 | 59,427 | |
| 62 | 2256.3 | 41,794 | 70,054 | |
| 77 | 1230.9 | 41,794 | 70,054 | |
| 64 | 1056.1 | 36,914 | 62,070 | |
| 65 | 714.1 | 36,914 | 62,070 | Section où les freins agissent. |
| 63 | 1064.9 | 36,914 | 62,070 | — — |

| NUMÉRO D'ORDRE. | NUMÉRO DU POSTE DU RELÈVE DE L'ADMINISTRATION. | INCLINAISON DE LA VOIE A L'EMPLACEMENT DES RAILS MESURÉS. | RAYON DE LA COURBE A | LE PASSAGE D'UN MILLION DE TONNES BRUTES A PRODUIT UNE USURE SUR | | | | NOMBRE DE MILLI- MÈTRES DE TONNES BRUTES CORRESPONDANT A UNE USURE MOYENNE DE 1 MILLIM. EN HAUTEUR POUR LES 2 RAILS. | |
|--|--|---|----------------------------|---|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | | | rail extérieur | | rail intérieur | | en hauteur de : | en surface de millim. carré : |
| | | | | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | en hauteur de : | en surface de millim. carré : | | |
| 51 | 8 | Pente de 5°=55 $\left(\frac{1}{180}\right)$ | 1,745 | 0.031 | 1.53 | 0.043 | 1.62 | 27,120 | |
| 52 | 18 | Id. Id. | ∞ | 0.022 | 1.00 | 0.024 | 0.90 | 43,619 | |
| 53 | " | Id. Id. | 1,745 | 0.018 | 0.95 | 0.025 | 0.89 | 46,527 | |
| 54 | 7 | Id. 5°=71 $\left(\frac{1}{175}\right)$ | ∞ | 0.019 | 0.71 | 0.021 | 0.77 | 49,004 | |
| 55 | " | Id. Id. | 1,328 | 0.019 | 0.58 | 0.018 | 0.47 | 53,715 | |
| 56 | 19 | Id. 6°=41 $\left(\frac{1}{156}\right)$ | ∞ | 0.030 | 1.08 | 0.025 | 0.97 | 35,345 | |
| 57 | " | Id. Id. | 1,915 | 0.026 | 0.80 | 0.020 | 0.64 | 43,662 | |
| 58 | 17 | Id. 6°=67 $\left(\frac{1}{150}\right)$ | ∞ | 0.079 | 2.73 | 0.074 | 2.67 | 13,052 | |
| 59 | " | Id. Id. | 1,896 | 0.053 | 2.14 | 0.050 | 1.65 | 19,414 | |
| 60 | 23 | Id. Id. | ∞ | 0.119 | 4.36 | 0.134 | 4.62 | 7,898 | |
| 61 | " | Id. Id. | 1,754 | 0.127 | 4.70 | 0.100 | 3.37 | 8,831 | |
| Moyennes des postes en alignement où les freins n'agissent pas | | | | | | | | 39,962 | |
| — — — où les freins agissent. | | | | | | | | 20,271 | |
| — — courbes où les freins n'agissent pas | | | | | | | | 34,529 | |
| — — — où les freins agissent | | | | | | | | 17,931 | |
| — — en alignement | | | | | | | | 35,038 | |
| — — en courbes | | | | | | | | 25,430 | |
| Moyenne générale de tous les postes | | | | | | | | 31,451 | |

| DES TRAINS CORRESPONDANT | | TONNAGE SUPPORTÉ. | NOMBRE DE TRAINS SUPPORTÉS. | OBSERVATIONS. |
|--|---|----------------------|-----------------------------------|---------------|
| USURE sur kilomètre sur 2 rails. | à une usure moyenne en surface pour les 2 rails de 1 mill. carré. | | | |

(inter. Suite.)

| | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--|
| 917 | 1847.4 | 13,986 | 40,642 | |
| 925 | 3058.4 | 13,958 | 40,616 | |
| 937 | 3172.9 | " | " | |
| 904 | 3355.4 | 13,906 | 40,642 | |
| 915 | 5419.3 | " | " | |
| 933 | 2537.6 | 14,845 | 43,117 | |
| 971 | 4048.6 | " | " | |
| 936 | 1077.2 | 12,138 | 35,283 | |
| 953 | 1535.4 | " | " | |
| 1,141 | 652.1 | 13,821 | 40,496 | |
| 1,850 | 726.4 | " | " | |
| 1,022 | 2.481 | " | " | |
| 1,802 | 0.948 | " | " | |
| 1,052 | 2.126 | " | " | |
| 1,784 | 0.767 | " | " | |
| 7,232 | 2.097 | " | " | |
| 2,897 | " | " | " | |
| 9,400 | " | " | " | |

Tableau donnant la mesure de l'usure des rails d'acier sur les postes

| Numéro d'ordre. | Numéro du relevé de l'administration autrichienne. | PROFIL DE LA VOIE A L'EMPLACEMENT DES RAILS MESURÉS. | Rayon de la courbe. | Tonnage supporté pendant la période d'observation (en millions de tonnes). | Nombre de trains qui ont passé sur les postes pendant le temps d'observation. | USURE PAR MILLIONS DE TONNES HEURES. | | | |
|-----------------|--|--|---------------------------|---|--|--|------------------------------|--|------------------------------|
| | | | | | | RAIL EXTÉRIEUR (*). | | RAIL INTÉRIEUR. | |
| | | | | | | Diminution de hauteur en millimètres. | Diminution de section. | Diminution de hauteur en millimètres. | Diminution de section. |
| 1 | 1 | Palier | ∞ | 24,356 | 67,257 | 0,018 | 0,89 | • | • |
| 2 | 2 | Id. | ∞ | 24,337 | 65,658 | 0,026 | 0,92 | • | • |
| 3 | 5 | Id. | ∞ | 18,031 | 53,722 | 0,028 | 0,89 | • | • |
| 4 | 2 | Id. | 1,422 | 24,337 | 65,658 | 0,028 | 1,50 | 0,025 | 0,57 |
| 5 | 5 | Id. | 948 | 18,031 | 53,722 | 0,043 | 2,18 | 0,053 | 1,52 |
| 6 | 3 | Déclivité de $1^{\text{m}} \frac{1}{100}$ | ∞ | 24,337 | 65,658 | 0,022 | 0,74 | • | • |
| 7 | 3 | Id. de $1^{\text{m}} 82 \frac{1}{550}$ | ∞ | 24,337 | 65,658 | 0,022 | 0,84 | • | • |
| 8 | 3 | Id. id. . | 759 | 24,337 | 65,658 | 0,097 | 4,44 | 0,109 | 4,09 |
| 9 | 5 | Id. de $2^{\text{m}} \frac{1}{500}$ | ∞ | 18,031 | 53,722 | 0,026 | 0,78 | • | • |
| 10 | 5 | Id. id. . | 604 | 18,031 | 53,722 | 0,047 | 2,85 | 0,052 | 1,56 |
| 11 | 5 | Id. id. . | 759 | 18,031 | 53,722 | 0,043 | 2,40 | 0,075 | 2,45 |
| 12 | 5 | Id. id. . | 948 | 18,031 | 53,722 | 0,033 | 1,59 | 0,036 | 1,14 |
| 13 | 1 | Id. de $3^{\text{m}} 33 \frac{1}{300}$ | ∞ | 24,356 | 67,257 | 0,023 | 0,82 | • | • |
| 14 | 1 | Id. id. . | 918 | 23,456 | 67,257 | 0,039 | 2,12 | 0,047 | 1,59 |
| 15 | 2 | Id. id. . | ∞ | 24,337 | 65,658 | 0,025 | 1,66 | • | • |
| 16 | 2 | Id. id. . | 1,328 | 24,337 | 65,658 | 0,034 | 1,61 | 0,030 | 1,06 |
| 17 | 4 | Id. id. . | ∞ | 24,337 | 65,658 | 0,018 | 0,51 | • | • |
| 18 | 4 | Id. id. . | 1,422 | 24,337 | 65,658 | 0,030 | 1,60 | 0,021 | 0,64 |
| | | | | | | Moyenne pour les sections en alignement. . | | | |
| | | | | | | — — — en courbe . . . | | | |

gnes à simple voie du réseau Kaiser-Ferdinand-Nordbahn.

| EN DE MILLIONS DES BRUTES DONT L'AGE CORRESPOND UNE USURE | | NOMBRE DE TRAINS DONT LE PASSAGE CORRESPOND A UNE USURE | | Usine de provenance | Nature du ballast. | Les sections sur les- quelles les freins agissent sont mar- quées : F. | Conditions d'exposition. | OBSERVATIONS. |
|--|-------------------------------|---|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|-----------------------------|------------------------|
| en surface de 1 millim. | en hauteur de 1 millim. | en surface de 1 millim. | en hauteur de 1 millim. | | | | | |
| 0 | 1.119 | 152,850 | 3.091 | Witkowitz. | Gravier. | " | Déblai de 6 mètres. | Composition chimique. |
| 10 | 1.066 | 104,219 | 2.930 | Id. | Gravier. | " | Terrain sablonneux. | Postes 17 et 18 |
| 2 | 1.125 | 107,445 | 3.351 | Id. | Pierraille. | " | Id. | C 0.400. |
| 22 | 0.844 | 103,084 | 2.274 | Tescher. | Gravier. | " | Id. | Si 0.010. |
| 31 | 0.526 | 60,323 | 1.568 | Witkowitz. | Id. | F A | Id. | Mn 0.200. |
| 19 | 1.360 | 123,772 | 3.670 | Id. | Id. | " | Id. | P 0.670. |
| 19 | 1.216 | 123,772 | 3.280 | Id. | Id. | " | Id. | Cu 0.320. |
| 35 | 0.231 | 26,263 | 6.32 | Id. | Id. | F A | Id. | S 0.010. |
| 34 | 1.274 | 114,734 | 3.797 | Id. | Id. | " | Sol sablonneux. | Postes 3, 5, 9 et 11 : |
| 34 | 0.453 | 50,691 | 1.351 | Id. | Pierraille. | F A | Id. | C 0.300. |
| 31 | 0.412 | 50,443 | 1.229 | Id. | Id. | F A | Id. | Si 0.030. |
| 32 | 0.731 | 86,158 | 2.178 | Id. | Id. | " | Id. | Mn 0.200. |
| 34 | 1.221 | 122,285 | 3.353 | Id. | Gravier. | " | Id. | P 0.130. |
| 36 | 0.524 | 64,154 | 1.439 | Id. | Id. | " | Id. | Cu 0.140. |
| 37 | 0.602 | 107,636 | 1.624 | Id. | Id. | " | Id. | S 0.040. |
| 37 | 0.705 | 87,270 | 1.900 | Id. | Id. | " | Id. | Postes restants : |
| 11 | 1.051 | 149,223 | 5.285 | Id. | Id. | " | Remblai. | C 0.380. |
| 53 | 0.803 | 105,100 | 2.410 | Id. | Id. | " | Id. | Si 0.010. |
| 63 | 1.119 | 121,117 | 2.376 | Id. | Id. | " | Id. | Mn 0.270. |
| 63 | 0.720 | 59,113 | 1.170 | Id. | Id. | " | Id. | P 0.070. |
| | | | | | | | | Cu 0.040. |
| | | | | | | | | S 0.010. |

(*) Dans les postes en alignement, la distinction entre rails extérieurs et rails intérieurs n'existe pas.

(**) F. A. Sections sur lesquelles on fait usage de freins automatiques.

Nous avons reproduit non seulement les usures en hauteur, mais encore celles en surface. Il suffit de comparer quelques chiffres pour voir que les premières ne peuvent servir de mesure aux secondes; ainsi au poste 1, une usure en hauteur de 0^{mm}02 correspond à une usure en surface de 0^{mm}84. tandis que dans le poste 4 une usure en hauteur de 0^{mm}028 ne donne que 0^{mm}83. Les deux rails du poste 7 sont usés en hauteur de la même quantité 0^{mm}022, tandis que l'usure en surface est pour l'un de 0^{mm}296, et pour l'autre de 0^{mm}68, soit à peu près un tiers de moins.

Ce point mérite d'autant plus de fixer l'attention que, dans les courbes, les différences entre les usures en hauteur de deux rails qui se font vis-à-vis, sont généralement beaucoup plus petites que les différences entre leurs usures en surface.

Ainsi, au poste d'observation 24, les mesurages des rails des deux files dans la partie en courbe de 759 mètres, ont donné des résultats très discordants. Nous les reproduisons ci-dessous :

| | Rail intérieur. | Rail extérieur. |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| Usure en hauteur . . . | 1.76 | 1.63 |
| Usure en surface . . . | 65 ^{mm} 80 | 134 ^{mm} 92 |

Le rail le moins usé en hauteur a une usure en surface double de celle de l'autre.

Il convient d'après cela d'examiner si on ne doit pas substituer l'usure en surface à l'usure en hauteur dans les observations auxquelles les rails d'acier donneront lieu. L'usure en surface a l'avantage de permettre de déterminer exactement la perte de poids.

Nous donnons dans nos tableaux le nombre de tonnes et le nombre de trains qui correspondent, 1^o à une usure en hauteur de 1 millimètre, et 2^o à une usure en surface de 1 millimètre carré.

D'après M. Couïard, l'usure doit être rapportée au nombre des trains, et non au tonnage.

Cela est certes admissible lorsque les poids des divers types de machines en usage sur un réseau diffèrent peu. Mais cela est-il aussi admissible l'orsqu'on intercale, comme on le fait actuellement, entre les services ordinaires, des services par trains légers, dont le poids total varie entre 30 et 70 tonnes.

D'autre part, sur les sections à forte rampe, les trains de marchandises sont souvent remorqués en double traction ; quelquefois même une troisième machine

pousse. De tels trains doivent évidemment user plus que les trains remorqués par une machine et que les trains légers.

Les tableaux transmis par la Compagnie donnent le nombre et le tonnage moyen des trains de diverses catégories qui circulent sur chacun des postes. Sur un certain nombre de ces postes, le poids brut moyen des trains de marchandises est de 784 tonnes. Sur quelques autres, il n'atteint que 497.

Parmi les sept postes en palier, il y en a quatre sur lesquels circulent des trains de marchandises dont le poids brut moyen est de 784, soit environ 800 tonnes. Ce sont les postes 1, 3, 5, 6.

Sur les trois autres, 2, 4 et 7, les trains de marchandises n'ont qu'un poids brut moyen de 497, ou à peu près 500 tonnes.

Sur les quatre premiers, 1 millimètre d'usure en hauteur correspond en moyenne, au passage de 52 millions de tonnes et de 93,600 trains.

Sur les trois autres, cette usure correspond à 39,740,000 tonnes et 99,000 trains, et si on fait abstraction du poste n° 3, qui dépasse très notablement tous les autres, pour ne comparer que les postes 1, 5, 6 aux postes 2, 4 et 7, on trouve que pour les trois premiers une usure de 1 millimètre correspond à 39,500,000 tonnes et à 66,000 trains.

Le chiffre du tonnage 39,500,000 est pour ainsi dire le même que celui de 39,700,000 des postes 2, 4, 7, mais le nombre de trains 66,000 n'est que les deux tiers de l'autre.

Cette proportion se rapproche de celle des charges brutes des trains de marchandises circulant sur les deux séries de sections : elles sont à peu près dans le rapport de 5 à 8.

Nous donnons au bas de nos tableaux les usures moyennes correspondant aux diverses conditions de tracé et de profil ; elles font clairement ressortir l'influence des pentes et des courbes.

Nous avons, en recherchant dans la statistique du Verein, pu voir quels étaient les postes qui ont à subir l'action des freins ; aucun poste en palier n'est renseigné.

Quoi qu'il en soit, on voit que la moyenne des postes donne, comme nombres de tonnes ou de trains nécessaires pour produire une usure de 1 millimètre en hauteur, des résultats comparables à ceux que M. Couïard a déduits de ses observations.

Les compositions chimiques et les provenances des rails des différents postes sont données dans la statistique du Verein.

Pour faire ressortir l'influence de la composition, nous pouvons faire les quatre groupements suivants :

1^{re} *groupe*. — Rails des sections d'observation 1 à 8. La composition chimique est à peu près la même : éléments étrangers, 0.78 p. c.; carbone, 0.38; manganèse, 0.27. Ces rails proviennent de l'usine de Witkowitz; le tableau que nous avons dressé plus loin en renseigne 20 postes (').

2^e *groupe*. — Rails des sections 14, 15, 16 et 17. Les rails sortent encore de l'usine de Witkowitz. Éléments étrangers, 0.91; carbone, 0.30; manganèse, 0.20.

3^e *groupe*. — Rails des sections 18 et 19. Éléments étrangers, 0.88; carbone, 0.41; manganèse, 0.19. Ces rails sortent de l'usine de Teschen.

4^e *groupe*. — Rails des sections 20, 21, 22, sortant de l'usine de Zeltweg; ils contiennent 0.65 d'éléments étrangers, 24 de carbone et 23 de manganèse.

| DÉSIGNATION DES GROUPES. | Nombre de millions de tonnes correspondant en moyenne à une usure | | Nombre de trains dont le passage correspond en moyenne à une usure | |
|--------------------------------|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
| | de 1 millimètre en hauteur. | de 1 mill. carré en surface. | de 1 millimètre en hauteur. | de 1 mill. carré en surface. |
| Groupe I (Witkowitz) . . . | 39.992 | 1.042 | 82.228 | 2.272 |
| — II — . . . | 28.951 | 0.741 | 50.844 | 1.309 |
| — III (Teschen) . . . | 42.288 | 1.105 | 122.647 | 3.279 |
| — IV (Zeltweg). . . . | 41.642 | 1.623 | 113.467 | 3.644 |

Nous devons faire observer que la moitié seulement des rails du groupe I sont dans des pentes, tandis que plus des deux tiers de ceux formant le groupe II se trouvent dans des parties en pente et que plusieurs font partie de sections où les freins agissent plus ou moins.

D'autre part, les rails du groupe III, bien que situés sur des pentes de 5^{mm}4, n'ont pas à subir l'action des freins.

Les rails du groupe IV sont situés sur des parties en rampe variant de 5^{mm}5 à 6^{mm}6.

Nous ne tirerons pour le moment pas de conclusion, nous ferons seulement remarquer que les rails du groupe III sont les plus durs, et que les rails du groupe IV sont très doux.

(') Les numéros des sections d'observation sont ceux du relevé transmis par la Compagnie.

Les rails du poste 23 du relevé de la Compagnie ont également une dureté moyenne et sortent de l'usine de Teschen. Aucune circonstance extérieure n'est indiquée comme pouvant expliquer l'usure rapide en hauteur de 1 millimètre pour 8,370,000 tonnes et 24,500 trains.

Enfin, les relevés de la Compagnie nous permettent de faire une recherche intéressante, celle de savoir si la résistance à l'usure augmente avec l'âge des rails et le tonnage supporté.

Nous avons dressé les nouveaux tableaux ci-après, dans lesquels nous renseignons les usures constatées à trois époques successives. Les usures entre les mesurages 1 et 2 et entre les mesurages 1 et 3 figurent dans les statistiques du Verein; celles constatées entre les mesurages 1 et 4 figurent aux relevés annexés.

Tableau indiquant la variation de la résistance à l'usure à

| Numéro de la section d'observation. | NUMÉRO CORRESPONDANT D. S. POSTES D'OBSERVATION DE LA STATION DE | | PROFIL. | | RAYONS DES COURBES. | USINES. | NATURE DU BALLAST. | Sections sur lesquelles les freins agissent. | USURES TO EN HAUT CONSTATÉES LES MESUR | |
|-------------------------------------|--|------------|---------|---------|---|------------|--------------------|--|--|-------|
| | 1879-81. | 1879-84. | Rampe. | Pente. | | | | | 1-2 | 1-3 |
| 1 | 344 | 398 | " | 3 à 4 | 1,138 4 p. c. 1,328 39 p. c. ∞ 57 p. c. | Witkowitz. | Gravier. | " | 0.11 | 0.54 |
| 2 | 346 | 399 | " | 3.33 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.13 | 0.63 |
| — | 336 | 400 | 0.00 | | ∞ et 1,138 | Id. | Id. | " | 0.10 | 0.60 |
| 3 | 347 | 401 | 4 | " | 948 | Id. | Id. | " | 0.14 | 0.93 |
| — | 348 | 402 | 4 | " | ∞ | Id. | Id. | " | 0.03 | 0.48 |
| 4 | 345 | 403 | " | 3.33 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.13 | 0.51 |
| 5 | 351 | 406 | 6.7 | " | 1,612 et 1,726 | Id. | Pierrailles. | " | 0.13 | 0.36 |
| 6 | 333 | 392 | 0.00 | | ∞ | Id. | Gravier. | " | 0.03 | 0.37 |
| 7 | 337 | 393 | " | 5.71 | 1,328 ∞ 28% 72% | Id. | Id. | " | " | 0.14 |
| 8 | 339 | 394 | " | 5.55 | 1,745 | Id. | Id. | " | 0.03 | 0.31 |
| 9 | 355 | 410 | 2 | " | ∞ | Id. | Id. | " | 0.05 | 0.013 |
| 10 | 350 | 411 | 4 | " | ∞ et 1,138 | Id. | Pierrailles. | " | 0.25 | 0.86 |
| 11 | 358 | 412 | 1 et 0 | " | ∞ et 1,517 | Id. | Gravier. | " | 0.27 | 0.85 |
| 12 | 359 | 414 | " | 0 et 2 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.17 | 0.52 |
| 13 | 360 | 415 | " | 1.25 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.075 | 0.46 |
| — | 360 | 416 | 1.25 | " | ∞ | Id. | Id. | " | 0.04 | 0.26 |
| 14 | 365 | 418 | " | 1 à 2 | 728 | Id. | Id. | " | 0.24 | 1.30 |
| — | 361 | 417 | " | 4 | 759 | Id. | Id. | F | 0.25 | 1.28 |
| — | 357 | 419 | " | 1 | 728 | Id. | Id. | F | 0.34 | 1.23 |
| — | 364 | 420 | " | 2.5 à 3 | ∞ et 1,517 | Id. | Id. | " | 0.24 | 0.83 |
| — | 366 | 421 | " | 2 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.23 | 1.07 |
| 15 | 349 | 422 | 4 | " | ∞ | Id. | Id. | " | 0.08 | 0.57 |
| — | 367 | 423 | 4 | " | ∞ | Id. | Id. | " | 0.13 | 0.62 |
| 16 | 362 | 424 | " | 1.25 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.04 | 0.36 |
| 17 | 354 | 425 | " | 6.6 | ∞ | Id. | Pierrailles. | " | 0.12 | 0.54 |
| 18 | 340 | 395 | " | 5.5 | ∞ | Teschen. | Id. | " | 0.04 | 0.13 |
| 19 | 342 | 396 | " | 6.2 | ∞ | Id. | Id. | " | 0.03 | 0.13 |
| 20 | 353 | 408 | 6.6 | " | ∞ et 1,759 | Zeltweg. | Id. | " | 0.05 | 0.28 |
| 21 | 348 | 407 | 5.6 | " | ∞ et 1,328 | Id. | Id. | " | 0.04 | 0.12 |
| 22 | 341 | 409 | 5.5 | " | ∞ et 1,759 | Id. | Id. | " | 0.13 | 0.25 |
| 23 | 352 | 413 | " | 6.6 | ∞ et 1,751 | Teschen. | Id. | F | 0.47 | 1.18 |
| 24 | " | 427 | " | 3.3 | " | Graz. | Id. | F | " | 0.95 |
| — | " | 426 et 428 | " | 0.00 | ∞ et 1,756 | Id. | Id. | " | " | 0.50 |

voies en double voie du chemin de fer Kaiser-Ferdinand-Nordbahn.

| TRAJETS TOTAUX EN SURFACE TATÉES ENTRE LES MESURAGES. | | NOMBRE DE MILLIONS DE TONNES CORRESPONDANT A UNE USURE | | | | | | NOMBRE DE MILLIONS DE TONNES QUI ONT PASSÉ S. R. LES POSTES D'OBSERVATION ENTRE LES MESURAGES. | | |
|--|-------|---|--------|--------|---|-------|-------|--|--------|--------|
| | | en hauteur de 1 millimètre d'après les usures relevées entre les mesurages. | | | en surface de 1 millimètre carré d'après les usures constatées entre les mesurages. | | | | | |
| | | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 |
| 20.9 | 48.68 | 79.77 | 47.62 | 42.65 | 1.967 | 1.205 | 0.858 | 8,775 | 25,181 | 41,794 |
| 20.4 | 41.9 | 67.50 | 38.46 | 40.57 | 1.791 | 1.235 | 0.969 | 8,775 | 25,181 | 41,794 |
| 19.6 | 38.5 | 87.75 | 41.67 | 43.99 | 2.372 | 1.282 | 1.086 | 8,775 | 25,181 | 41,794 |
| 47.1 | 77.86 | 60.40 | 27.03 | 25.73 | 0.983 | 0.532 | 0.537 | 8,457 | 25,104 | 41,688 |
| 12.1 | 23.53 | 281.90 | 52.63 | 58.86 | 7.018 | 2.083 | 1.776 | 8,457 | 25,104 | 41,688 |
| 13.6 | 20.4 | 37.41 | 27.78 | 37.58 | 1.158 | 1.031 | 1.169 | 4,864 | 14,074 | 23,552 |
| 11.6 | 21.75 | 28.25 | 27.03 | 28.82 | 0.781 | 0.826 | 0.670 | 3,673 | 9,624 | 14,985 |
| 10.7 | 0.0 | 162.13 | 38.46 | 41.48 | 3.040 | 1.316 | 1.040 | 4,864 | 14,074 | 23,552 |
| 3.9 | 10.28 | " | 62.50 | 49.00 | 5.42 | 2.273 | 1.358 | 3,250 | 8,650 | 13,066 |
| 11.4 | 22 | 106.33 | 27.78 | 27.12 | 0.956 | 0.758 | 0.582 | 3,250 | 8,650 | 13,066 |
| 5.7 | 14.57 | 127.64 | 106.67 | 89.240 | " | 3.333 | 2.144 | 6,382 | 19,320 | 31,237 |
| 34.8 | 60.15 | 33.85 | 29.41 | 32.32 | 0.805 | 0.719 | 0.693 | 8,457 | 25,104 | 41,688 |
| 33 | 59.68 | 37.79 | 31.25 | 32.68 | 0.885 | 0.794 | 0.734 | 9,203 | 26,585 | 43,767 |
| 19.3 | 22.22 | 30.13 | 26.63 | 66.33 | 0.933 | 0.971 | 1.062 | 5,134 | 13,820 | 23,607 |
| 11.7 | 26.41 | 73.34 | 30.06 | 33.72 | 2.567 | 1.176 | 0.894 | 5,134 | 13,820 | 23,607 |
| 7.2 | 18.78 | 85.07 | 52.63 | 44.97 | 2.445 | 1.920 | 1.257 | 5,134 | 13,820 | 23,607 |
| 55.7 | 92.61 | 20.54 | 16.13 | 17.74 | 0.685 | 0.376 | 0.398 | 4,930 | 20,920 | 36,914 |
| 51.2 | 86.92 | 19.72 | 16.39 | 17.83 | 0.675 | 0.408 | 0.425 | 4,930 | 20,920 | 36,914 |
| 46.3 | 97.18 | 14.50 | 16.39 | 17.79 | 0.554 | 0.452 | 0.380 | 4,930 | 20,920 | 36,914 |
| 23.9 | 58.97 | 20.54 | 25.00 | 25.11 | 0.704 | 0.715 | 0.626 | 4,930 | 20,920 | 36,914 |
| 39.4 | 61.17 | 21.43 | 19.61 | 22.10 | 0.836 | 0.532 | 0.603 | 4,930 | 20,920 | 36,914 |
| 17.8 | 34.90 | 61.88 | 35.71 | 42.95 | 2.06 | 1.119 | 1.056 | 4,951 | 20,379 | 36,948 |
| 20.0 | 39.2 | 38.08 | 33.33 | 37.32 | 1.150 | 1.020 | 0.943 | 4,951 | 20,379 | 36,948 |
| 10.4 | 19.64 | 69.40 | 32.26 | 39.01 | 1.735 | 1.000 | 1.082 | 2,776 | 11,483 | 21,261 |
| 15.6 | 30.39 | 13.09 | 12.82 | 15.55 | 0.449 | 0.442 | 0.399 | 1,571 | 6,946 | 12,158 |
| 4.7 | 13.0 | 81.05 | 60.67 | 45.02 | 0.858 | 1.031 | 1.068 | 3,242 | 8,624 | 13,668 |
| 3.9 | 13.0 | 120.8 | 71.43 | 39.58 | 1.647 | 2.430 | 1.140 | 3,624 | 9,553 | 14,845 |
| 8.5 | 16.6 | 73.36 | 34.48 | 31.59 | 2.158 | 1.136 | 0.895 | 3,608 | 9,619 | 14,980 |
| 3.3 | 12.4 | 90.40 | 76.92 | 46.35 | 2.26 | 2.857 | 1.195 | 3,616 | 9,513 | 14,833 |
| 9.2 | 13.9 | 27.73 | 38.46 | 38.00 | 0.858 | 1.031 | 1.068 | 3,605 | 9,512 | 14,822 |
| 35.6 | 56.4 | 69.24 | 7.30 | 8.33 | 0.236 | 0.242 | 0.215 | 3,254 | 8,599 | 13,821 |
| 50.5 | 100.4 | " | 17.86 | 19.32 | " | 0.337 | 0.327 | " | 17,014 | 32,853 |
| 20.3 | 50.3 | " | 28.83 | 30.63 | " | 0.838 | 0.633 | " | 17,014 | 32,853 |

Tableau indiquant la variation de la résistance à l'usure des rails des postes

| NUMÉROS D'ORDRE. | | | | PROFIL. (Déclivités en millimètres par mètre. | RAYON DES COURBES. | USINE. | BALLAST | CONDITIONS D'EXPOSITION. | SECTIONS SUR LESQUELLES LES FREINS AGISSENT. | DIMINUTION DE HAUTEUR S'ÉCARTANT ENTRE LES MESURAGES. | | |
|------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---|---------------------------|------------|--------------|--|--|---|------|------|
| | Relevé de la compagnie. | Statistique de 1879-1881. | Statistique de 1879-1884. | | | | | | | 1-2 | 1-3 | 1-4 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 61 | 86 | 3.3 | 948 | Witkowitz. | Gravier. | { Tranchées de } 6 mètres. | " | 0.30 | 0.65 | 1.05 |
| 2 | 1 | " | 87 | 0.0 | ∞ | Id. | Id. | " | " | " | 0.36 | 0.44 |
| 3 | 1 | 62 | 88 | 3.3 | ∞ | Id. | Id. | { Terrains } sablonneux, forêts des 2 côtés. | " | 0.15 | 0.41 | 0.52 |
| 4 | 2 | 65 | 89 | 3.3 | 1,328 et ∞ | Id. | Id. | " | " | 0.24 | 0.47 | 0.69 |
| 5 | 2 | 66 | 90 | 0 et 1 millim. | 1,422 et ∞ | Id. | Id. | " | " | 0.20 | 0.43 | 0.64 |
| 6 | 3 | 68 | 91 | 1.9 | 759 | Id. | Id. | { Remblais } peu élevés. | F | 0.77 | 1.61 | 2.38 |
| 7 | 3 | 67 — 69 | 92 — 93 | 1 et 1"" 9 | ∞ | Id. | Id. | " | { F (partiel- } lement. | 0.23 | 0.41 | 0.57 |
| 8 | 4 | 63 — 64 | 94 — 96 | 0 et 3.3 | ∞ et 1,422 | Teschen. | Id. | { Remblai } de 4 mètres. | " | 0.135 | 0.35 | 0.52 |
| 9 | 5 | 70 | 98 | 0 et 2 | ∞ | Witkowitz. | Pierrailles. | { Remblai } de 5 mètres sur sol sablonneux, jeunes sapinières de part et d'autre. | " | 0.05 | 0.30 | 0.45 |
| 10 | 5 | 71 | 99 | 2"" 0 | 604 | Id. | Id. | " | F | 0.15 | 0.53 | 0.68 |
| 11 | 5 | " | 97 | 0 et 2"" 00 | { ∞ 604 759 } | Id. | Id. | " | F | " | 0.48 | 0.52 |

ervation sur lignes à simple voie, au Kaiser-Ferdinand-Nordbahn.

| DÉTERMINATION DE SURFACE SCABIE D'APRÈS LES MESURAGES. | | | NOMBRE DE MILLIONS DE TONNES CORRESPONDANT À UNE USURE EN HAUTEUR DE 1 MILLIMÈTRE CARRÉ ENTRE LES MESURAGES. | | | NOMBRE DE MILLIONS DE TONNES CORRESPONDANT À UNE USURE EN SURFACE DE 1 MILLIMÈTRE CARRÉ ENTRE LES MESURAGES. | | | OBSERVATIONS. |
|--|------|-------|--|-------|-------|--|-------|-------|---|
| 1 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | |
| 12 | 25.9 | 46.4 | 20.64 | 24.39 | 23.20 | 0.409 | 0.610 | 0.525 | Composition chimique. Postes 1 à 7: C 0.350. Si 0.010. Mn 0.270. P 0.070. Cu 0.040. S 0.010. Poste 8: C 0.400. Si 0.010. Mn 0.200. P 0.070. Cu 0.320. S 0.010. Postes 9 à 11: C 0.300. Si 0.030. Mn 0.200. P 0.130. Cu 0.140. S 0.040. |
| . | 13.1 | 21.8 | . | 43.48 | 67.66 | . | 1.205 | 1.120 | |
| 4.7 | 12.2 | 20.0 | 41.29 | 38.46 | 44.28 | 1.318 | 1.299 | 1.218 | |
| 8.6 | 17.2 | 36.5 | 25.77 | 33.33 | 35.27 | 0.719 | 0.917 | 0.667 | |
| 7.4 | 13.8 | 25.1 | 30.92 | 37.04 | 38.12 | 0.826 | 1.136 | 0.970 | |
| 1 | 67.2 | 103.0 | 8.03 | 9.80 | 9.73 | 0.109 | 0.234 | 0.234 | |
| 7.8 | 12.5 | 19.0 | 26.88 | 38.38 | 45.92 | 0.703 | 1.259 | 1.270 | |
| 4.8 | 12.0 | 19.9 | 45.80 | 44.06 | 45.92 | 1.288 | 1.311 | 1.226 | |
| 1.3 | 7.5 | 15.1 | 50.34 | 34.48 | 37.18 | 1.036 | 1.389 | 1.194 | |
| 5.7 | 22.3 | 39.8 | 16.80 | 19.61 | 20.33 | 0.412 | 0.465 | 0.453 | |
| . | 16.5 | 34.2 | . | 21.74 | 21.21 | . | 0.629 | 0.527 | |

Il ressort de ces tableaux qu'entre le premier et le troisième mesurage, la résistance à l'usure a été plus grande qu'entre le premier et le deuxième pour la presque généralité des postes, mais entre le troisième et le quatrième mesurage, la résistance paraît, sur les lignes à double voie, avoir diminué plutôt qu'augmenté. Sur les lignes à simple voie, elle diminue pour presque tous les postes, lorsqu'on considère l'usure en surface, tandis qu'elle augmente pour l'usure en hauteur. Ce résultat contradictoire indique encore que c'est principalement l'usure en surface qu'il faut mesurer, et rapporter à la circulation. La diminution pour les rails du poste 2, établi dans une région partiellement sablonneuse, couverte de bois, a été même de 50 p. c.

Nordwestbahn. — Les observations de la Nordwestbahn (voir tableau, annexe VI) sont intéressantes à plus d'un titre. D'abord, elles ont porté sur trois types de rails se caractérisant par la forme du bourrelet, rectangulaire, évasé vers le bas, évasé vers le haut. (Pl. II, fig. 3, 4 et 5.)

Cette Compagnie peut donc fournir des éléments permettant d'élucider plus ou moins la question de l'influence de la forme sur l'usure du champignon, surtout sur celle en surface. Ensuite, les postes se caractérisent par la nature des supports : nous avons des postes sur traverses en bois, sur traverses en fer et sur longrines en fer.

Nous pouvons, en supposant que le nombre journalier de trains soit resté invariable pendant toute la durée comprise entre le premier et le dernier mesurage, dresser le tableau ci-dessous qui donne, pour différents postes, le nombre de trains et de tonnes dont le passage correspond à une usure en hauteur de 1 millimètre et en surface de 1 millimètre carré.

| INDICATION DES POSTES. | NOMBRE de trains correspondant à une usure | | NOMBRE de millions de tonnes correspondant à une usure | |
|---|--|---|---|--|
| | en hauteur de 1 millim. | en surface de 1 milli- mètre carré. | en hauteur de 1 millim. | en surface de 1 milli- mètre carré |
| <i>Postes sur longrines.</i> | | | | |
| Poste IV. En palier et alignement | 44,500 | 1,068 | 13.51 | 0.324 |
| Id. V. En palier, partie en alignement, partie en courbe de 1,000 mètres | 43,750 | 925 | 13.16 | 0.283 |
| Id. VI. Partie en palier, partie en rampe de deux millimètres, partie en alignement, partie en courbe de 1,000 mètres | 41,300 | 948 | 12.35 | 0.290 |

| INDICATION DES POSTES. (Suite.) | NOMBRE de trains correspondant à une usure | | NOMBRE de millions de tonnes correspondant à une usure | |
|--|--|---|---|---|
| | en hauteur de 1 millim. | en surface de 1 milli- mètre carré. | en hauteur de 1 millim. | en surface de 1 milli- mètre carré. |
| <i>Postes sur traverses en fer.</i> | | | | |
| Poste III. En palier, courbe de 400 mètres . . . | 40,000 | 4,009 | 12.05 | 0.306 |
| <i>Postes sur traverses en bois.</i> | | | | |
| Poste I. Courbe de 380 mètres, rampe 7 ^m 52 . . | 42,417 | 4,193 | 11.76 | 0.283 |
| Id. II. Alignement, rampe de 10 millimètres . . | 37,289 | 923 | 10.31 | 0.256 |

Les postes sur traverses en bois, bien qu'en rampes assez prononcées, ne donnent qu'une usure peu inférieure à celle des postes sur supports métalliques qui sont en palier

En somme, l'usure à la Nordwestbahn est plus rapide qu'à la Compagnie précédente. Ses rails diffèrent de ceux de cette dernière Compagnie en ce qu'ils pèsent par mètre courant 4.3 kilogrammes de moins, et que leur teneur en carbone et en manganèse est beaucoup plus élevée. Les rails les plus durs proviennent de l'usine de Ternitz, les autres de l'usine de Tepplitz.

Le ballast est d'ordinaire du gravier.

Société privilégiée austro-hongroise des chemins de fer de l'État. — On trouvera à la suite de notre exposé la note que cette Société nous a fait parvenir.

Les Sociétés précédentes donnent à leur rail une inclinaison de 1/16 et la conicité du bandage y est également de 1/16.

A la Société dont nous nous occupons maintenant, l'inclinaison du rail est encore de 1/16, mais la conicité du bandage est de 1/20.

A l'aide des renseignements contenus dans la note, nous dressons le tableau suivant qui indique la marche de l'usure entre les divers mesurages.

| INTERVALLE ENTRE DEUX MESURAGES. | Nombre de trains qui ont circulé entre deux mesurages. | Nombre de millions de tonnes brutes qui ont passé entre deux mesurages. | Usure produite entre ces deux mesurages. | Nombre de trains correspondant à une usure de 1 millimètre. | Nombre de millions de tonnes correspondant à une usure de 1 millimètre. |
|---|---|--|---|--|--|
| Pose et 1 ^{er} mesurage . . . | 7,942 | 324 | " | " | " |
| 1 ^{er} et 2 ^e mesurages . . . | 11,550 | 4,715 | 0.09 | 12,833 | 52,390 |
| 2 ^e et 3 ^e id. . . . | 27,375 | 14,744 | 0.16 | 171,094 | 92,150 |
| 3 ^e et 4 ^e id. . . . | 22,320 | 18,418 | 0.09 | 248,000 | 204,000 |
| Totaux et moyennes. . . | 69,187 | 41,117 | 0.34 | 203,491 | 120,930 |

Il
rési
pro
la
qu

considérable et suit une marche

33 kilogrammes. (Pl. II, fig. 6.)

En outre, le tableau qui était joint à la note
contient les renseignements qu'il contient, et de ceux
du Dr. Verein, nous dresserons le tableau ci-
joint. Les facteurs qui influent sur l'usure sont mises en
tableau de façon la résistance à l'usure varie avec

TABLEAU

**indiquant la variation de la résistance à l'usure des rails
sur le chemin de fer de l'État de Hongrie**

Chemin de fer
Tableau indiquant la variété

| Numéros d'ordre. | Numéro de la statistique du Verein | | PROFIL d'inclinaison en millimètres par mètre. | RAYONS DES COURBES. | USINE. | BALLAST. | ESPÈCE DE FREINS EMPLOYÉS. | Tonnage sup entre les mesurages (en millions de t) | |
|------------------|------------------------------------|----------|--|---------------------|------------|-------------|----------------------------|--|--------|
| | de 1881. | de 1884. | | | | | | 1-2 | 1-3 |
| 0 | " | 252 | 0 à 2 | ∞ | Ternitz. | Gravier. | " | " | 12 258 |
| 1 | " | " | 4 | ∞ | Id. | Pierraille. | Westinghouse. | " | " |
| 2 | " | " | 8 | ∞ | Id. | Id. | Frein à main. | " | " |
| 3 | " | " | 12 | ∞ | Id. | Id. | Westinghouse et Hardt. | " | " |
| 4 | 170 | 244 | 16.16 | ∞ | Dios Györ. | Id. | Westinghouse. | 1.206 | 6.042 |
| 5 | " | 246 | 20 | ∞ | Reschitza. | Sable. | Frein à main. | " | 1.188 |
| 6 | " | " | 25 | ∞ | Id. | Pierraille. | " | " | " |
| 7 | 178 | 251 | 25 | ∞ | Zeltweg. | Id. | " | 0 619 | 3.983 |
| 80 | " | 253 | 0 à 2 | 950 et 664 | Ternitz. | Gravier. | " | " | 12.258 |
| 8 | " | " | 4 | 948 | Id. | Id. | Frein à main. | " | " |
| 9 | " | " | 12 | 900 | Id. | Id. | Westinghouse. | " | " |
| 10 | " | " | 12 | 550 et 400 | Id. | Id. | " | " | " |
| 11 | " | " | 12 | 275 | Id. | Id. | " | " | " |
| 12 | 171 | 243 | 16.16 | 1,060 | Dios Györ. | Id. | " | 1.206 | 6.042 |
| 13 | 172 | 245 | 16.16 | 275 | Id. | Id. | " | 1.206 | 6.042 |
| 14 | " | 247 | 20 | 630 | Reschitza. | Sable. | Westinghouse. | " | 1.188 |
| 15 | " | " | 25 | 800 | Id. | Pierraille. | Frein à main. | " | " |
| 16 | " | " | 25 | 400 et 450 | Id. | Id. | " | " | " |
| 17 | " | " | 25 | 275 | Id. | Id. | " | " | " |
| 18 | 177 | 250 | 25 | 275 | Zeltweg. | Id. | " | 0 619 | 3.983 |
| " | 109 | 233 | 0 | ∞ | Reschitza. | Gravier. | " | 8.412 | 17.019 |
| " | " | 234 | " | 758 | Id. | Id. | " | " | 17.019 |
| " | 159 | 232 | 6.6 | ∞ | Id. | Id. | " | 8.412 | 17.019 |
| " | 160 | 235 | 6.6 | 758 | Id. | Id. | " | 8 412 | 17.019 |
| " | 165 | 236 | 0 | 948 | Id. | Pierraille. | " | 8.408 | 17.019 |
| " | 166 | 238 | 5 | ∞ | Id. | Id. | " | " | 17 019 |
| " | " | 237 | 5 | 948 | Id. | Id. | " | " | 17.019 |
| L. | | | | | | | | | |
| 1 | " | " | Rampe, 1.5 | 300 | Id. | Gravier. | " | " | " |
| 2 | " | " | Pente, 1.5 | 300 | Id. | Id. | " | " | " |

Etat de Hongrie

Distance à l'usure des rails.

| Usure en hauteur constatée entre les mesurages en millimètres. | | Usure en surface constatée entre les mesurages en millimètres carrés. | | | Nombre de millions de tonnes correspondant à une usure de 1 millimètre en hauteur, d'après les usures constatées entre les mesurages. | | | Nombre de millions de tonnes correspondant à une usure en surface de 1 millimètre carré, d'après les usures constatées lors des mesurages. | | | OBSERVATIONS relatives aux poids des rails, leur longueur et le nombre de leurs supports. |
|--|------|---|-------|-------|---|-------|--------|--|-------|-------|--|
| 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | |
| 0.35 | " | " | 0.19 | " | " | 38.46 | " | " | 0.645 | " | |
| " | 0.29 | " | " | 8.6 | " | " | 25.56 | " | " | 0.862 | |
| " | 0.29 | " | " | 15.0 | " | " | 15.17 | " | " | 0.293 | |
| " | 0.24 | " | " | 12.2 | " | " | 15.104 | " | " | 0.297 | |
| 0.55 | 1.07 | 20.0 | 30.0 | 45.0 | 3.02 | 10.98 | 9.03 | 0.06 | 0.201 | 0.215 | 33.2 $\frac{7.5}{9}$ |
| 0.65 | 1.37 | " | 38.0 | 64.0 | " | 1.83 | 1.08 | " | 0.031 | 0.023 | 33.2 $\frac{8}{9}$ |
| " | 0.45 | " | " | 14.4 | " | " | 9.14 | " | " | 0.285 | 33.2 $\frac{7.5}{9}$ |
| 0.39 | 0.78 | " | 30.0 | 27.4 | 5.16 | 10.20 | 10.31 | " | 0.133 | 0.233 | 33.2 $\frac{7.5}{9}$ |
| 0.56 | " | " | 30.0 | " | " | 21.74 | " | " | 0.408 | " | 30.4 $\frac{4.74}{5}$ |
| " | 0.15 | " | " | 4.5 | " | " | 49.40 | " | " | 1.617 | |
| " | 0.26 | " | " | 12.7 | " | " | 13.92 | " | " | 0.215 | |
| " | 0.73 | " | " | 34.0 | " | " | 4.96 | " | " | 0.107 | |
| " | 0.51 | " | " | 28.0 | " | " | 6.71 | " | " | 0.129 | |
| 0.67 | 1.07 | 24.3 | 40.0 | 52.7 | 8.04 | 9.01 | 9.03 | 0.019 | 0.151 | 0.181 | 33.2 $\frac{7.5}{9}$ |
| 0.72 | 1.42 | 8.9 | 30.0 | 71.0 | 5.24 | 8.51 | 6.81 | 0.136 | 0.201 | 0.136 | |
| 0.62 | 1.06 | " | 36.0 | 49.1 | " | 1.91 | 1.19 | " | 0.033 | 0.030 | 33.2 $\frac{7}{8}$ |
| " | 0.36 | " | " | 11.50 | " | " | 11.42 | " | " | 0.358 | 31.0 $\frac{6.5}{7}$ |
| " | 0.74 | " | " | 25.9 | " | " | 5.56 | " | " | 0.163 | |
| " | 0.69 | " | " | 23.1 | " | " | 5.96 | " | " | 0.178 | |
| 0.70 | 1.18 | " | 14.16 | 36.6 | 2.0 | 5.68 | 6.81 | " | " | 0.220 | |
| 1.62 | " | 83.9 | 97.3 | " | 5.62 | 10.33 | " | 0.100 | 0.170 | " | |
| 1.58 | " | " | 92.0 | " | " | 10.75 | " | " | 0.185 | " | |
| 1.42 | " | 84.4 | 90.0 | " | 6.02 | 12.05 | " | 0.109 | 0.189 | " | |
| 1.23 | " | 77.9 | 80.0 | " | 7.62 | 13.89 | " | 0.107 | 0.212 | " | |
| 1.40 | " | 92.7 | 95.0 | " | 6.21 | 12.20 | " | 0.089 | 0.179 | " | |
| 1.72 | " | 90.3 | 102.5 | " | 6.21 | 9.90 | " | 0.093 | 0.166 | " | |
| 2.15 | " | " | 118.0 | " | " | 7.94 | " | " | 0.151 | " | |
| Les voies. | | | | | | | | | | | |
| " | 0.75 | " | " | 35.3 | " | " | 6.08 | " | " | 0.129 | |
| " | 0.51 | " | " | 23.2 | " | " | 6.93 | " | " | 0.152 | |

vement aux usures constatées sur les postes d'observation établis sur les lignes en Belgique, des renseignements que l'on trouvera en annexe.

Nous déduisons de ces renseignements le tableau ci-dessous.

| N ^o d'ordre. Unités. | PROFIL. | | NATURE des rails. | Nombre de trains nécessaires pour produire une usure de 1 millimètre. | Nombre de millions de tonnes dont le passage correspond à une usure de 1 millimètre. | OBSERVATIONS. |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|--|--|---|
| | Rampe. Millim. | Pente. Millim. | | | | |
| 1 | " | 1,4 | Martin. | 29,213 | 6,629 | Nous avons pris l'usure moyenne des rails des deux files. |
| 2 | " | 2 | Bessemer. | 31,755 | 7,862 | |
| 3 | " | 2 | Martin. | 31,755 | 7,862 | |
| 4 | " | 8 | Bessemer. | 32,136 | 6,194 | |
| 5 | 1,4 | " | Id. | 27,795 | 8,570 | |
| 6 | 8 | " | " | 37,528 | 8,930 | |

L'usure est plus rapide sur ces lignes que sur les lignes autrichiennes que nous avons considérées.

Si nous examinons les circonstances particulières, nous constatons que :

- 1° Le rail ne pèse que 30 kilogrammes (Pl. III, fig. 23);
- 2° L'espacement moyen des appuis est 0.889 mètre;
- 3° La différence de section de l'âme et du patin est assez grande;
- 4° Le ballast est composé de scories, de laitiers ou de cendres;
- 5° Les rails en acier Bessemer du poste 2 donnent la même usure que ceux en acier Martin du poste 3;
- 6° Les postes 1, 2, 3, 4 sont situés sur des lignes desservant la partie la plus industrielle du pays, où l'atmosphère est toujours poussiéreuse et contient en abondance des produits de combustion dégagés par de nombreuses cheminées d'usines;
- 7° Les postes 4 et 6, en pente ou rampe de 8 millimètres, sont sur une ligne qui longe la Meuse. L'état humide de l'atmosphère et les déclivités expliquent l'usure assez grande des rails.

Il ressort de la comparaison des usures des postes 1 et 5 que les trains lourds ont plus d'influence que les trains légers, et cela vient à l'appui de ce que nous disions plus haut, que l'on ne peut rapporter l'usure au nombre de trains que lorsque le tonnage moyen de ceux-ci ne varie que dans de faibles limites.

On n'a constaté que dans un seul des six postes une différence sensible dans l'usure des rails des deux files.

Les courbes sont toutes à grand rayon.

ESPAGNE.

La *Compagnie des chemins de fer andalous* a établi un poste d'observation sur la partie inférieure d'une section en pente de 0.015 sur 5 kilomètres, dans une gorge assez profonde; il comprend l'entrée d'un tunnel et partie d'un remblai élevé. La ligne est à simple voie et le poste comprend une partie en alignement et une partie en courbe de 400 mètres.

Après neuf ans de service, on a constaté par mètre linéaire une perte de poids de 0.280 kilogramme.

Le tonnage supporté se répartit comme suit :

| | |
|--|----------|
| Tonnage des trains de marchandises montant | 2,240.00 |
| — — descendant. . . . | 3,970.00 |
| — de voyageurs montant | 1,116.00 |
| — — descendant | 1,225.00 |

Le tonnage montant est donc de 3,356,000 tonnes. Le tonnage descendant, de 5,195,000. Ce tonnage descend, les freins modérément serrés. L'usure constatée correspond à une usure en surface de 1 millimètre carré par 0.241 million de tonnes.

Le ballast est en gravier quelque peu argileux, mais de perméabilité et de qualité passables.

FRANCE.

Compagnie de l'Est. — Nous avons reçu de cette Compagnie une note résumant les résultats des observations faites sur son réseau pour déterminer la marche plus ou moins rapide de l'usure des rails d'acier.

Nous en reproduisons ci-après intégralement la partie qui concerne le rail de 30 kilogrammes :

- « Les rails ont comme dimensions : hauteur 120 millimètres, largeur du patin, 99. Les premiers rails ont été employés en 1874.
- « Les longueurs ont été portées successivement à 8 mètres avec 9, 10 ou 11 traverses; à 12 mètres avec 14 ou 16 traverses.
- « La pose se fait avec joints en porte-à-faux.

- « Entre la traverse et le rail on interpose une semelle en feutre.
- « Le champignon se raccorde avec l'âme par des faces peu obliques qui avec les faces supérieures du patin procurent un éclissage symétrique.
- « L'éclisse intérieure est plate; l'éclisse extérieure est à cornière. Les joints sont croisés de 60 centimètres.
- « Les rails, depuis qu'ils sont posés sur des semelles en feutre, s'usent très peu sous le patin.
- « Ils s'usent au droit du serrage des tire-fond, au contact des éclisses, mais surtout au sommet du champignon soumis au roulement des véhicules.
- « L'usure dont on s'est surtout préoccupé à la Compagnie de l'Est, c'est celle du champignon, qui limite en quelque sorte la durée du rail en acier.
- « Des relevés nombreux ont été faits à ce sujet sur tout le réseau.
- « Ils peuvent se traduire assez exactement par les chiffres ci-après :
- « Dans les parties où les déclivités ne dépassent pas 6 millimètres et où la marche des trains est libre, l'usure est de 1 millimètre pour 100,000 trains et de 5 millimètres pour 100 millions de tonnes.
- « Là où les déclivités sont plus fortes et aux approches des stations et des bifurcations, dans les stations et les haltes, lorsque les freins sont obligés d'agir énergiquement, l'usure est beaucoup plus considérable. Sur les déclivités supérieures à 0.006 et allant jusqu'à 0.012, l'usure devient en voie courante de 3 millimètres pour 100,000 trains.
- « Elle atteint 5 millimètres sur les déclivités supérieures à 0.012.
- « Aux approches des stations et bifurcations, l'usure devient généralement double de ce qu'elle est en voie courante à marche libre des trains.
- « Suivant qu'il y a une déclivité inférieure à 0.006 ou une pente comprise entre 0.006 et 0.012 ou supérieure à 0.012, l'usure aux abords des disques, pour 100,000 trains, est respectivement de 2 millimètres sur un développement de 1,000 mètres, de 6 millimètres sur une étendue de 1,000 à 1,500 mètres, ou de 10 millimètres sur une longueur de 1,000 à 2,000 mètres.
- « Dans les grandes gares, l'usure est moyennement de 10 millimètres sur 1,000 mètres et de 5 millimètres sur 1,000 autres mètres.
- « Dans les stations de moindre importance, elle est également de 10 et 5 millimètres, mais sur une longueur plus réduite.
- « Les observations faites n'ont pas permis jusqu'à présent de dégager d'une façon bien nette l'influence du ballast, du sous-sol, des courbes, de la vitesse, sur la rapidité de l'usure des rails. »

Compagnie d'Orléans. — Nous extrayons les renseignements ci-après de la note que nous a fait parvenir la Compagnie d'Orléans.

Elle n'a pas à proprement parler de postes d'observation; on a suivi seulement de plus près l'usure des rails en acier placés les premiers et sur la section la plus fréquentée de Paris-Orléans.

« A. Usure relevée sur 2 rails posés entre Étampes et Guillerval.

« Voie en pente de 8 millimètres, courbe de 1,400 mètres. — Trafic, 12,000 trains par an.

Rail de l'entrevoie, grand rayon :

| | |
|---|---------------------|
| Hauteur du rail relevée en 1878 | 130 ^{mm} 4 |
| — — 1888 | 126 4 |
| Usure en 10 ans | 3 ^{mm} 6 |

Rail de l'accotement, petit rayon :

| | |
|---|---------------------|
| Hauteur du rail relevée en 1878 | 130 ^{mm} 5 |
| — — 1888 | 127 6 |
| Usure en 10 ans | 2 ^{mm} 9 |

« B. Usure relevée sur des rails posés entre Château-Gaillard et Artenay.

« Voie en pente de 1^{mm}500 en alignement droit. — Trafic, 12,000 trains par an.

Rail de l'entrevoie :

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Hauteur du rail en 1877 | 131 ^{mm} 3 |
| — — 1882 | 130 6 |
| Usure en 5 ans | 0 ^{mm} 7 |

Rail de l'accotement :

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Hauteur du rail en 1877 | 131 ^{mm} 1 |
| — — 1882 | 130 5 |
| Usure en 5 ans | 0 ^{mm} 6 |

D'après ces chiffres l'usure annuelle moyenne, pour les rails des deux files de la section B en pente de 1^{mm}5 serait de 0^{mm}13, ce qui correspond environ à une usure de 1 millimètre pour 92,300 trains. Sur la section en pente de 8 millimètres, l'usure moyenne annuelle est de 0^{mm}325, c'est-à-dire que 1 millimètre d'usure correspond à 36,922 trains.

Le rapport de l'usure au trafic pour la section à faible inclinaison ne s'écarte pas des moyennes déjà indiquées pour des rails de même poids.

Ce rapport paraît faible pour les rails de la partie en pente de 8 millimètres,

mais il faut tenir compte que cette pente a 6 kilomètres de longueur et que les freins sont généralement serrés.

Les rails de la file de l'entrevoie s'usent plus vite que ceux de la file de l'accotement.

Le rail est à bourrelets symétriques. Le poids est de 38³; l'aire de la section, de 47.85 centimètres carrés.

L'acier susceptible de prendre la trempe est extra-dur, beaucoup plus dur que celui du bandage. Le ballast est en sable de carrières.

La conicité du bandage est pour les locomotives de 1/10, pour les voitures et wagons, de 1/20.

La charge maxima sur les essieux moteurs est de 14.900.

Comme système de freins, la Compagnie renseigne que les locomotives ont la contre-vapeur; les trains directs, express ou rapides à voyageurs, le frein Wenger; les autres trains, le frein à main.

Compagnie du Midi. — Nous reproduisons ci-dessous la partie de la note que cette Compagnie nous a fait parvenir au sujet des observations qu'elle a faites sur l'usure des rails d'acier dans la gare Saint-Jean près de Bordeaux :

« Le rail à double champignon pèse 38 kilogrammes; l'aire de sa section de 0^m00488736 se répartit comme suit en pour cent :

| | |
|--------------------------------|-------|
| Ame. | 0.238 |
| Champignon supérieur | 0.381 |
| — inférieur | 0.381 |

« Le rail a une longueur normale de 11 mètres ou 5^m50, une inclinaison de 1/20.

« L'acier est plus dur que celui des bandages.

« Les traverses supportant un même rail sont toutes espacées de 0^m98, à l'exception des deux traverses du milieu, qui sont espacées de 0^m60 seulement. Cette disposition permet d'effectuer immédiatement le remplacement d'un rail de 11 mètres mis accidentellement hors de service par deux rails de 5^m50 susceptibles d'être maniés par une équipe de quatre hommes. Les traverses voisines des joints sont également espacées entre elles de 0^m60.

« Les joints des rails sont en porte-à-faux.

« L'éclissage comprend deux éclisses de longueurs différentes : l'éclisse intérieure a 540 millimètres de long et bute par les deux extrémités contre les coussinets des traverses voisines; l'éclisse extérieure, de 450 millimètres de long, porte une cannelure pour recevoir les têtes des boulons.

« Le ballast employé sur le réseau du Midi doit être exempt de toute matière terreuse, de tout détrit et être purgé de tous les cailloux, quelle qu'en soit la

proportion, qui ne peuvent passer dans tous les sens dans un anneau de 60 à 80 millimètres de diamètre.

« Le climat des régions traversées par le réseau du Midi est, dans sa majeure partie, humide et tempéré.

« Le poste d'observation auquel se réfèrent les renseignements qui suivent a été établi en juillet 1865, au début de l'application des rails en acier, dans la gare Saint-Jean, à Bordeaux, sur la voie d'arrivée de la ligne de Bayonne, et comprenait 285 rails, soit une longueur de voie de 783 mètres, posés sur un terrain en tranchée et sec.

« Dans toute l'étendue de ce poste d'observation, la ligne est en double voie, en pente de 5 millimètres et en courbe de 800 mètres. Le dévers est de 75 millimètres et le surécartement des rails de 10 millimètres. Cette section de voie, étant située à l'entrée en gare, subit fort souvent l'action du serrage des freins.

« En 1869, après trois ans et demi de service, les 285 rails étaient en parfait état, le profil primitif de la table de roulement commençait à peine à montrer un commencement d'usure.

« En 1874, après neuf ans et demi de service, les rails de la file de grand rayon présentaient sur le bourrelet supérieur une usure de 1^{mm}5, et sur le bourrelet inférieur, au droit du coussinet, une usure de 1 millimètre.

« Les rails de la file du petit rayon présentaient sur le bourrelet supérieur une usure de 1 millimètre environ ; le bourrelet inférieur ne présentait, au droit du coussinet, aucune trace d'usure.

« En 1879, après quatorze ans et demi de service, l'usure maximum n'est que de 2 millimètres.

« En 1889, après plus de vingt-quatre ans de service, les usures relevées aux points les plus fatigués sont les suivantes :

« 2^{mm}9 au bourrelet supérieur de la file du grand rayon.

« 2^{mm}3 au bourrelet inférieur du droit des coussinets.

« 3^{mm}4 du bourrelet supérieur de la file du petit rayon.

« 4^{mm}0 du bourrelet inférieur au droit des coussinets.

« La circulation sur ce tronçon de voie ne comprend que des trains de voyageurs. Le tonnage journalier de l'ensemble de ces trains est au minimum de 2,000 tonnes ; il dépasse le plus souvent ce chiffre.

« La charge maxima sur les rails des essieux moteurs des machines à grande vitesse est de 15 tonnes par essieu ; celle des essieux moteurs remorquant les trains lourds de marchandises est de 13,800 tonnes.

« Toutes les machines du réseau du Midi sont munies d'un sablier. Aucun

appareil spécial n'est appliqué aux locomotives desservant des sections de voie où le patinage est fréquent.

« La Compagnie du Midi emploie sur ses locomotives et ses voitures le frein Wenger et le frein Westinghouse.

« L'emploi de la contre-vapeur prescrit sur les fortes déclivités, donne de bons résultats. »

Traduisons ce renseignement en chiffres, en supposant que le tonnage annuel moyen depuis la pose jusqu'à ce jour ait été de 750,000 tonnes.

Prenons l'usure du bourrelet supérieur.

On a constaté en moyenne pour les deux files :

| | |
|--|--------------------|
| En 1869 pour 2,625,000 tonnes une usure de | 0 ^{mm} 00 |
| — 1874 — 7,125,000 — — | 1 25 |
| — 1879 — 10,878,000 — — | 2 00 |
| — 1889 — 18,376,000 — — | 3 15 |

D'après cela, l'usure moyenne de 1 millimètre a été atteinte pendant les trois périodes commençant à la pose après le passage de

| | |
|---|------|
| 5,700,000 tonnes pour la période finissant en | 1874 |
| 5,437,000 — — — | 1879 |
| 5,831,000 — — — | 1889 |

c'est-à-dire que la marche de l'usure a été à peu près constante.

La résistance à l'usure est assez faible, mais on ne doit pas perdre de vue les conditions de tracé et de profil, courbe de 800 mètres, pente de 5 millimètres, et la circonstance qu'il ne circule que des trains de voyageurs.

L'influence des freins s'y fait sentir d'une façon continue, et le poids par essieu des machines atteint jusque 15 tonnes.

Chemin de fer de l'État. — Cette Administration nous a fait parvenir, au sujet de l'usure des rails à double champignon (fig. 11, pl. III) mis en œuvre entre les kilomètres 6 et 17 de la voie unique des Sables-d'Olonne à Tours, les renseignements suivants :

Les rails posés en janvier 1880 ont actuellement, c'est-à-dire au bout de neuf ans et demi, une usure de 0^{mm}9. Le nombre de trains est annuellement de 2,300 environ; on peut donc évaluer à 24,300 le nombre de trains dont le passage correspond à une usure de 1 millimètre.

Le rail pèse 38 kilog.; le ballast est du sable très pur et perméable, formé par la désagrégation de roches schisteuses et quartzeuses.

Sur les 11 kilomètres qui forment le poste d'observation, il y en a 8.6 présentant des déclivités variant entre 10 et 26 millimètres par mètre. L'exposition

du poste est variable; la longueur en tranchée est de 3,500 mètres, en remblai de 3,400 mètres et à niveau de 4,100 mètres. L'un des remblais est établi sur terrain marécageux. Deux petites tranchées sont humides; une autre, grande, creusée dans un terrain schisteux de 2,300 mètres de longueur, se trouve dans une pente de 0.010 et est facilement assainie.

La charge maxima sur rail par essieu moteur varie de 12,000 à 13,550 kilog. Les locomotives sont munies de la sablière à hélice pour augmenter l'adhérence et empêcher le patinage; quelques-unes ont reçu la sablière Gresham et Craven à titre d'essai.

Tous les trains de voyageurs sont munis du frein continu Wenger.

Les pentes les plus fortes sont descendues par les trains de voyageurs simplement à régulateur fermé, sans vapeur. Les trains de marchandises et quelques trains mixtes sont seuls obligés de modérer la vitesse que leur donnerait l'action de la gravité.

Pour cela, les mécaniciens doivent employer la contre-vapeur, qui est toujours plus que suffisante, et ne sont jamais dans l'obligation de descendre avec les freins serrés.

PAYS-BAS.

Staatspoorweg. — La Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais nous a fait parvenir le tableau-annexe qui établit une comparaison entre les rails en acier dur et les rails en acier doux au point de vue de la résistance à l'usure.

Ceux en acier doux sont très peu carburés tandis que leur contenance en manganèse est grande; elle est plus de trois fois plus forte que celle en carbone.

M. Grüner, inspecteur général des mines en retraite, dans son mémoire sur la nature de l'acier le plus convenable pour les rails, constate que l'oxydation est d'autant plus énergique que l'acier est plus manganésifère ⁽¹⁾; l'usure par la rouille proprement dite doit donc être forte dans les rails doux que la Compagnie des chemins de fer de l'État a mis en observation.

Quoi qu'il en soit, les chiffres cités par la Compagnie correspondent pour les rails en acier durs, à une usure en surface de 1 millimètre carré pour 542 trains et à une usure en hauteur de 1 millimètre pour environ 32,500 trains.

Ces chiffres sont faibles: le poste d'observation est en alignement, en palier et assez éloigné des stations pour qu'on ne doive pas y serrer les freins.

Le rail ne pèse que 33¹/₂.

Les renseignements relatifs au nombre et à la nature des appuis (métalliques ou bois) dans l'étendue du poste d'observation font défaut.

⁽¹⁾ *Annales des ponts et chaussées de France*, janvier 1882.

Chemin de fer rhénan-nerlandais. — La Compagnie nous a fait parvenir les renseignements suivants sur les mesurages de rails placés dans un poste d'observation entre Elten et Emmerich sur une ligne à simple voie, de niveau, en alignement, et où les freins ne doivent pas être serrés.

Les mesurages effectués en juin 1832 et en avril 1888 ont fait constater que pendant ce laps de temps, il s'était produit une usure en hauteur de 0^{mm}63 et une usure en surface de 27^{mm}2 9.

La circulation, entre ces mesurages a été de :

33,986 trains de voyageurs, avec 4,687,000 tonnes;
18,886 — marchandises, avec 12,017,000 tonnes.

Ce qui donne, une usure :

En hauteur de 1 millimètre pour 83,924 trains et 26,514,000 tonnes;
En surface de 1 — carré pour 1,894.7 trains et 600 tonnes.

Comparons ces résultats à ceux qui figurent dans les statistiques du Verein pour 1879-1884.

Un mesurage intermédiaire aux précédents, en avril 1885, a fait constater à cette époque une usure en hauteur de 0^{mm}14 et en surface de 5^{mm}26 pour une circulation de 7,952,000 tonnes, ce qui correspondait à une usure :

En hauteur de 1 millimètre pour 55,560,000 tonnes;
En surface de 1 — carré pour 1,429,000 tonnes

La résistance à l'usure a donc diminué de plus de 50 p. c., mais les chiffres déduits des mesurages de 1884 sont assez grands, tandis que ceux de 1888 cadrent mieux avec les observations recueillies dans d'autres conditions.

Quoi qu'il en soit, les conditions particulières du poste sont les suivantes :

Rails Vignoles pesant 36^k4, longs de 7^m90, posés sur 9 traverses *métalliques*.

Le poids du rail se répartit comme suit :

| | |
|--------------------|-------|
| Bourrelet. | 0.431 |
| Ame | 0.214 |
| Patin | 0.355 |

L'acier est doux, la composition chimique est :

| | | | |
|--------------|-------|---------------|--------|
| C. | 0.276 | Cu. | 0.072 |
| Si | 0.051 | S. | 0.061 |
| Mn | 0.620 | Fer | 98.839 |
| Ph | 0.081 | | |

Le manganèse est au carbone dans la proportion de 2 1/4 à 1.

Le terrain est sec et de niveau; le ballast est composé d'un sable fin.

Cette dernière circonstance, jointe à la forte proportion de manganèse, pourrait être de nature à expliquer la diminution de la résistance à l'usure. Peut-être aussi peut-on l'attribuer en partie à la nature des supports.

Chemins de fer hollandais. — Cette Compagnie a deux postes d'observation, l'un dans les dunes, l'autre dans un terrain bas (polder), avec remblai de 3 mètres en sable.

Le poste (a) est sur une ligne à double voie et en rampe, moitié en alignement, moitié en courbe de 15,000 mètres de rayon.

Le poste (b), sur ligne à simple voie, comprend trois parties :

Une de niveau et en alignement;

— inclinée —

— — et en courbe de 1,000 mètres.

Les renseignements relatifs à la déclivité ne sont donnés pour aucun de ces postes, mais il est à supposer que les inclinaisons sont faibles.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons, à l'aide des indications fournies par la Compagnie, former le tableau suivant :

| DÉSIGNATION DES POSTES. | | Usure constatée. | Tonnage supporté. | Nombre de tonnes correspondant à une usure de 1 millimètre. |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|---|
| | | Millimètres. | | |
| Poste a | Partie en rampe | 2.10 | 10,272,267 | 4,891,556 |
| | Id. en courbe | 2.00 | 10,272,267 | 4,280,000 |
| Poste b | Partie de niveau et en alignement. . | 1.4 | 7,190,865 | 5,136,322 |
| | Id. inclinée et en alignement . . | 1.5 | 7,190,865 | 4,793,910 |
| | Id. inclinée et courbée. . . . | 1.8 | 7,190,065 | 3,994,925 |

La résistance à l'usure est faible.

Le rail pèse 38^k6, il a 7 mètres de longueur et est posé sur 8 traverses.

Dans le poste en double voie, les traverses sont en fer, dans le poste à simple voie, elles sont en bois.

Le rail est en acier doux, sa composition chimique est la suivante :

| | | | |
|--------------|------|---------------|-------|
| C | 0,30 | S | 0,03 |
| Si | 0,12 | Cu | 0,10 |
| Mn | 0,45 | Fer | 89,91 |
| Ph. | 0,09 | | |

Le climat est humide, à cause de la proximité de la mer.

Le ballast consiste en une couche de gravier d'une épaisseur de 12 à 15 centimètres.

Les sections du poste (a) sont parcourues chaque jour par 20 trains avec une vitesse moyenne de 55*4 et un tonnage moyen de 154.7 tonnes.

Le poste (b) est parcouru par 11 trains; leur vitesse moyenne est 47*33 et leur tonnage moyen 166 tonnes.

La couche de ballast est faible, et il est probable que le sable dont les remblais sont composés se mêle au gravier. Cette circonstance, jointe à l'humidité du climat et à la vitesse moyenne très grande des trains, explique jusqu'à un certain point la faible résistance que les rails opposent à l'usure.

RUSSIE.

Les Administrations russes de Vladicaucase, de Riasan-Koslow et de Woronège-Rostow, nous ont fait parvenir les tableaux que nous publions plus loin et qui permettent de se rendre compte du nombre de rails d'acier retirés des voies pour cause d'usure ou de bris. Nous ne pouvons qu'y renvoyer.

Ces Administrations, pas plus que celle du chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Varsovie, n'ont encore établi de postes d'observation. La note de cette dernière Compagnie dit qu'elle n'a pas sur sa ligne de « rails d'acier d'une homogénéité telle que l'usure se fasse sentir uniformément sur toute sa longueur. « L'usure du rail est essentiellement locale; c'est principalement aux joints que « l'aplatissement et plutôt l'écrasement à la tête du rail s'accuse ».

SUISSE.

La Compagnie du Jura-Berne-Lucerne nous a fait parvenir une note donnant les conditions auxquelles les rails d'acier fournis par adjudication doivent satisfaire, ainsi qu'un relevé des rails remplacés pour toutes autres causes que l'usure. Ces renseignements concernent le litt. A de la question I.

Nous nous bornerons à extraire la remarque que « les fournisseurs habituels de la Compagnie sont :

« Krupp, à Essen;

« Les aciéries Hoesch, à Dortmund;

« Les aciéries Union, à Dortmund;

« et qu'il est manifeste que les rails Krupp résistent mieux à l'usure que les rails des deux autres usines. »

Chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon. — Cette Compagnie,

pas plus que la précédente, n'a fait d'observation systématique sur l'usure des rails d'acier. Elle nous a cependant fourni le renseignement suivant, relatif à l'influence de l'humidité dans les tunnels :

« Le premier renouvellement que nous avons eu à faire d'une section de rails en acier a été fait en 1836 ; c'était une section posée en 1872 avec rails type de l'Est de 36 kilogrammes provenant de l'usine de Firminy, et d'une longueur de 480 mètres, dans un tunnel très humide, en rampe de 18 à 20 millimètres, et en courbe de 450 et 400 mètres.

« Le nombre moyen de trains a été de 16 par jour jusqu'en 1877 ; de 1877 à 1886, de 22 trains par jour et, en 1886, de 24 trains. Les rails en fer de la meilleure qualité (Wendel et Crenzot) qui étaient là avant 1872, avaient duré en moyenne 3 ans. Les rails en acier du même profil — Est français 36 kilogrammes — ont duré 15 ans, c'est-à-dire cinq fois plus. Ils n'étaient cependant pas déformés et ont pu être réutilisés dans des voies accessoires de gares où ils subsisteront encore de nombreuses années.

« Une expérience a été faite sur la diminution de poids qu'ils ont subie tant par l'usure que par l'oxydation. La barre de 6 mètres pesait à l'état neuf $6 \times 36 = 216$ kilogrammes. Le poids moyen des barres sorties du tunnel après nettoyage et décapement complet, a été constaté à 199 kilogrammes ou à 33^k445 par mètre, ce qui fait une perte de 17 kilogrammes par barre de 6 mètres ou de 2^k955 par mètre courant, soit de 8.3 p. c.

« Des rails de même type ayant été posés à la même époque à ciel ouvert et immédiatement avant ce tunnel, par conséquent dans les mêmes conditions de circulation de trains sur rampes de 18 p. m. et courbes de 450 mètres ; le poids a été constaté à 202^k5 par barre, soit une perte de 13^k5 par barre ou de 2^k250 par mètre, soit 6.30 p. c. On en peut conclure que la perte de poids due à l'oxydation spéciale des conditions particulières de ce tunnel a été de 17k. — $13^k5 = 3^k5$ par barre de 6 mètres ou de $2^k955 - 2^k250 = 0^k705$ par mètre courant ou 2 p. c. »

Chemin de fer du Gothard. — Cette Compagnie nous a fait parvenir une note très intéressante sur l'usure causée par la rouille. Nous la reproduisons en annexe.

§ 4. — RÉSUMÉ DES CAUSES D'USURE.

Nous avons passé en revue tous les documents dans lesquels nous avons pu puiser quelques renseignements relatifs aux diverses circonstances qui ont ou paraissent avoir de l'influence sur l'usure du champignon de roulement. Nous

devrions maintenant les résumer dans un ordre systématique de façon à permettre leur discussion. Malheureusement, les renseignements ne sont pas assez complets dans la plupart des cas d'usures anormales; celles-ci paraissent devoir être attribuées à des causes multiples dont il est difficile de mesurer l'action.

Nous nous bornerons donc à indiquer les causes dont l'influence paraît ressortir avec le plus d'évidence.

Une double question préalable se présente toutefois.

Faut-il tenir compte, dans les observations, de l'usure en hauteur ou de l'usure en surface et, ce point tranché, faut-il rapporter l'usure au nombre de trains ou au nombre de tonnes brutes qui ont passé sur le poste? Il va de soi qu'il ne s'agit ici que de l'usure due à la circulation et non de celle due à la rouille.

Cette double question résolue, les points à examiner sont les suivants :

I. — *Composition chimique.*

A. Proportion de carbone. — Les Compagnies françaises emploient un acier dur. D'après M. Couïard, l'usure des rails de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée peut, en alignement et en palier, être estimée à 1 millimètre pour 110,000 trains et 30 millions de tonnes; à la Compagnie de l'Est dont le rail ne pèse que 30 kilogrammes, l'usure est de 1 millimètre pour 100,000 trains et 20,000 tonnes; à la Compagnie d'Orléans, l'usure paraît être de 1 millimètre pour 93,000 trains, mais il n'est pas prudent d'appliquer à un réseau aussi étendu les résultats d'un seul poste d'observation.

En résumé, comme nombre de trains, ces trois chiffres sont comparables.

Les rails de la Nordwestbahn contiennent également une assez forte proportion de carbone, mais le manganèse est en quantité moindre.

Nous avons vu que l'usure des postes sur palier et en alignement est de 1 millimètre pour 44,500 trains.

Les rails de la Compagnie des chemins de fer de l'État néerlandais qui ont donné les meilleurs résultats, contiennent 0.366 de carbone et 0.637 de manganèse avec une usure en hauteur de 1 millimètre correspondant au passage d'environ 32,400 trains.

Les Sociétés autrichiennes autres que le Nordwestbahn emploient des aciers doux avec peu d'éléments étrangers.

Au Kaiser Ferdinand Nordbahn, l'usure des parties de niveau, surtout de celles sur lignes à simple voie, se rapproche, lorsqu'on la rapporte au nombre de trains, de la mesure indiquée par M. Couïard, et elle la dépasse lorsqu'on la rapporte au tonnage.

La résistance à l'usure des rails en acier doux de la Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État est considérable, mais nous devons faire la réserve que nous avons déjà faite au sujet de la Compagnie d'Orléans, qu'elle n'a qu'un poste.

Au chemin de fer Rhénan-Néerlandais, l'acier contient peu de carbone, mais la proportion de manganèse est forte.

La résistance à l'usure, en prenant le tonnage pour base, se rapproche de celle indiquée par M. Couïard, 1 millimètre pour 26 millions de tonnes.

B. Influence du manganèse. — Le manganèse est après le chrome le métal le plus dur : il raie le verre. Le fer ne vient que cinquième au point de vue de la dureté. C'est donc dans les conditions normales un élément durcissant. D'un autre côté, à l'air humide il s'oxyde rapidement, et décompose l'eau avec une rapidité d'autant plus grande que la température est plus chaude. Nous avons fait ressortir, à propos des observations renseignées par les Compagnies hollandaises l'influence qu'une forte proportion de manganèse exerce sur l'usure dans les régions à climat humide.

Ces observations, d'accord avec celles de M. Couïard, confirment la théorie énoncée par M. Grüner dans son mémoire sur la nature de l'acier le plus convenable pour les rails.

II. — *Procédés de fabrication.*

Nous avons, chaque fois que nous avons pu le faire, indiqué dans nos tableaux la provenance des rails.

En France, les rails sont en acier Bessemer, et d'après M. Couïard (*Revue générale*, mars 1884) l'acier Martin serait inférieur à l'acier Bessemer.

En Autriche, les usines emploient généralement le procédé Thomas, qui élimine davantage le manganèse, le phosphore, etc.

Ces renseignements ne suffisent toutefois pas pour faire connaître tous les éléments qui peuvent faire varier la qualité des produits. Des observations plus précises seraient nécessaires.

Nous avons dit plus haut que l'acier des rails est différent d'une coulée à l'autre et que le métal n'est même pas homogène dans un rail.

M. E. Roussel, chef des essais au chemin de fer de l'État belge, a fait de nombreuses expériences sur des rails d'acier au banc Kirkaldy installé à l'arsenal de Malines. Le tableau suivant, qu'il nous a communiqué, donne les résultats comparatifs des essais auxquels ont été soumises des éprouvettes découpées dans l'âme, le bourrelet et le patin de divers rails.

*Essais relatifs à la résistance d'éprouvettes découpées dans l'âme,
le bourrelet et le patin de divers rails.*

| ÉPROUVETTES DÉCOUPÉES DANS | | | | | | |
|----------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | l'âme. | | le bourrelet. | | le patin. | |
| | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. |
| 8.38 | P. c. | Kilog. | P. c. | | | |
| 13.52 | 15.36 | 72.50 | 15.84 | " | " | " |
| 20.30 | 16.64 | 61.30 | 15.94 | " | " | " |
| 20.10 | 19.72 | 59.10 | 15.50 | " | " | " |
| 21.40 | 15.66 | 68.30 | 15.40 | " | " | " |
| 21.10 | 20.13 | 52.70 | 17.84 | " | " | " |
| 21.50 | 20.15 | 61.10 | 19.67 | " | " | " |
| 21.40 | 7.90 | 66.00 | 13.62 | " | " | " |
| 22.50 | 21.75 | 57.90 | 19.82 | " | " | " |
| 22.20 | 17.77 | 65.60 | 17.02 | " | " | " |
| 22.00 | 20.60 | 63.60 | 17.65 | " | " | " |
| 22.30 | 14.55 | 67.90 | 14.35 | " | " | " |
| 22.20 | 16.90 | 64.90 | 16.00 | " | " | " |
| 22.20 | 14.05 | 65.80 | 7.55 | " | " | " |
| 22.20 | 14.05 | 64.70 | 5.30 | " | " | " |
| 22.10 | 12.08 | 64.10 | 6.15 | " | " | " |
| 22.30 | 10.35 | 69.90 | 8.80 | " | " | " |
| 22.25 | 17.20 | 68.60 | 16.25 | " | " | " |
| 22.20 | 8.85 | 58.40 | 5.05 | " | " | " |
| 22.30 | 17.67 | 60.90 | 16.67 | " | " | " |
| 22.10 | 18.15 | 66.30 | 15.20 | " | " | " |
| 21.10 | 14.55 | 71.50 | 17.70 | " | " | " |
| 22.20 | 19.15 | 59.30 | 19.12 | " | " | " |
| 22.20 | 16.85 | 68.70 | 15.90 | " | " | " |
| 21.40 | 16.00 | 72.30 | 14.50 | " | " | " |
| 22.30 | 13.60 | 73.10 | 15.90 | " | " | " |
| 23.00 | 12.30 | 69.00 | 16.70 | " | " | " |
| 20.10 | 15.55 | 69.60 | 16.60 | " | " | " |

| DÉSIGNATION du RAIL ESSAYÉ. | ÉPROUVETTES DÉCOUPÉES DANS | | | | | |
|--|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | l'âme. | | le bourrelet. | | le patin. | |
| | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. | Résistance par millimètre carré. | Allongement pour cent. |
| Rail de 38 kilogrammes. | Kilog. | P. c. | Kilog. | P. c. | Kilog. | P. c. |
| | 70.10 | 15.55 | 69.60 | 16.60 | " | " |
| | 55.40 | 18.15 | 56.70 | 20.60 | " | " |
| | 55.60 | 14.38 | 55.40 | 14.85 | " | " |
| | 54.90 | 19.38 | 57.20 | 19.75 | " | " |
| | 54.30 | 19.98 | 56.40 | 21.70 | " | " |
| | 58.45 | 23.30 | 58.14 | 10.13 | " | " |
| | 57.23 | 18.86 | 58.30 | 13.33 | " | " |
| | 63.70 | 17.80 | 66.10 | 18.00 | " | " |
| | 57.10 | 19.86 | 55.90 | 51.46 | " | " |
| Moyenne pour les rails de 38 kilog. | 63.48 | 16.58 | 63.47 | 15.31 | " | " |
| Rail de 52 kilogrammes. (Rails fabriqués par la Société des aciéries de France.) | 73.80 | 13.70 | 69.50 | 9.30 | " | " |
| | 73.30 | 16.00 | 66.90 | 6.10 | " | " |
| | 64.70 | 17.70 | 62.30 | 14.50 | " | " |
| | 76.00 | 12.00 | 66.20 | 19.60 | " | " |
| | 74.10 | 27.20 | 68.10 | 13.05 | " | " |
| | 64.60 | 16.85 | 59.80 | 14.40 | " | " |
| | 71.18 | 14.35 | 64.90 | 12.20 | " | " |
| | 61.19 | 18.45 | 60.90 | 16.30 | " | " |
| | 67.32 | 15.60 | 63.30 | 11.70 | " | " |
| | 65.60 | 12.55 | 65.00 | 15.00 | " | " |
| | 61.20 | 17.25 | 61.90 | 18.20 | " | " |
| Moyenne. | 68.18 | 16.51 | 64.34 | 13.67 | " | " |
| Rail de 52 kilogrammes. (Rails fabriqués par la Société J. Coc- kerill) | 82.90 | 8.06 | 82.00 | 8.57 | 81.10 | 11.80 |
| | 79.80 | 11.82 | 78.50 | 8.41 | 80.70 | 11.65 |
| | 69.70 | 14.69 | 71.10 | 12.83 | 74.80 | 15.25 |
| | 68.00 | 13.06 | 67.50 | 14.46 | 73.20 | 14.05 |
| | 75.80 | 11.11 | 72.70 | 10.68 | 79.90 | 11.55 |
| Moyenne. | 75.20 | 11.74 | 74.38 | 10.99 | 77.90 | 12.86 |

III. — *Dimensions des rails.*

Les renseignements recueillis sont encore trop incertains et trop peu nombreux pour permettre de discerner *exactement* l'influence que peuvent avoir sur l'usure :

- 1° Le poids du rail ;
- 2° Son module de flexion ,
- 3° Sa longueur ;
- 4° Le profil de son champignon ;
- 5° La proportionnalité de ses trois parties ;
- 6° Le nombre et la nature des supports ;
- 7° Le système des joints (suspendus ou appuyés).

Il paraît cependant ressortir des statistiques déjà parues :

- 1° Que toutes autres conditions étant égales, la résistance du rail à l'usure croît avec la résistance aux efforts verticaux ;
- 2° Que les supports en bois paraissent préférables ;
- 3° Qu'il est probable qu'au point de vue de l'usure en surface, le profil du champignon a une importance sérieuse, mais que, pour arriver à la déterminer, il faudrait faire des expériences comparatives et lever les profils d'un grand nombre de rails usés.

Les profils qui figurent dans la statistique du *Verein* 1879-1884 sont au nombre de 140 ; plusieurs accusent des usures latérales très prononcées.

68 peuvent rentrer dans la forme ordinaire,
 60 dans la forme évasée vers le haut,
 12 — — — bas.

Des usures latérales assez prononcées se remarquent dans :

13 profils du premier type ;
 13 — second —
 4 — troisième—

Cette dernière forme paraît donc la moins avantageuse.

L'influence de l'inclinaison des rails, de la conicité des bandages et de la différence plus ou moins grande dans la dureté de l'acier pour bandages ou pour rails ne ressort pas des observations dont on nous a transmis les résultats.

IV. — *Influence des déclivités.*

L'influence des rampes sur les lignes à double voie paraît assez faible sauf lorsqu'elles deviennent fortes et nécessitent des machines très puissantes pour la remorque de charges même faibles.

L'influence des pentes se caractérise au contraire parfaitement, surtout lorsque l'inclinaison dépasse une certaine limite et que les machinistes sont obligés, pour régler la marche de leurs trains, de faire fonctionner plus ou moins les freins.

Lorsque dans un poste d'observation en double voie, une rampe succède à une pente, on constate presque toujours une usure plus forte au bas de la pente et au pied de la rampe ainsi que sur la partie en palier qui les sépare. Cette usure supplémentaire paraît avoir pour cause les efforts que fait le machiniste en cet endroit pour se lancer avant d'aborder la rampe.

Dans les tableaux de la statistique du Verein, la résistance à l'usure paraît moindre dans les postes sur palier ou faiblement inclinés que dans ceux dont les inclinaisons sont plus fortes; cela tient à ce que les moyennes ont été obtenues sans qu'on ait éliminé préalablement les postes sur lesquels des usures anormales se produisent.

Ainsi, si on supprime du tableau du Verein qui donne les postes situés sur des lignes à double voie ayant moins de 3 millimètres d'inclinaison, et dont les rayons varient de 1000^m à ∞ , les six postes de la station d'Oberhausen, ainsi que les trois de la ligne aux abords, et trois sur lesquels l'action des freins se fait sentir, on trouve que la moyenne des vingt-huit postes restants donne une usure en hauteur de 1 millimètre pour 27 millions de tonnes, et de 1 millimètre carré en surface pour 634,000 tonnes.

De même si dans le tableau des sections dont les rampes sont comprises entre 5 et 7^m5 et les rayons des courbes compris entre 1000 et 800, on supprime les postes 436 et 437 que la Compagnie austro-hongroise des chemins de fer de l'État ne renseigne plus actuellement, on trouve que la moyenne des quatorze postes restants donne une usure en hauteur de 1 millimètre pour 16,200,000 tonnes et en surface de 1 millimètre carré pour 372,000 tonnes.

En éliminant ainsi des statistiques allemandes, certains postes qui sont dans des conditions particulières, on peut faire, pour les voies en alignement ou en courbe à grand rayon, un tableau où l'influence du profil s'accuse assez régulièrement.

| INCLINAISON DE PROFIL. | Millions de tonnes nécessaires pour provoquer une usure. | | | | | |
|--|--|----------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------|
| | en hauteur de 1 mill. | | | en surface de 1 mill. carré. | | |
| | Simple voie. | Double voie. | | Simple voie. | Double voie. | |
| | | Rampe. | Pente. | | Rampe. | Pente. |
| 0.0 à 3.0. millimètres par mètre. | 25.82 (29) | 27.000 | 27.000 | 0.586 | 0.634 | 0.634 |
| 3.0 à 4.0 id. id. | 33.33 (8) | 33.33 (1) | 33.330 (8) | 0.840 | 1.124 (1) | 0.950 (8) |
| 4.0 à 5.0 id. id. | 20.00 (1) | 33.33 (3) | 20.00 (3) | 0.383 | 1.100 (3) | 0.456 (3) |
| 4.0 à 7.5 id. id. | 10.00 (5) | 16.200 (14) | 13.16 (14) | 0.193 (5) | 0.372 (14) | 0.384 (14) |
| 7.5 à 10.0 id. id. | 8.85 (14) | " | 11.161 (4) | 0.172 (14) | " | 0.243 (4) |
| 10.0 à 15.0 id. id. | 7.692 (43) | 16.67 (6) | 8.333 (13) | 0.193 (43) | 0.459 (6) | 0.184 (13) |
| 15.0 à 20.0 id. id. | 7.143 (15) | 5.55 (4) | 2.857 (3) | 0.153 (15) | 0.121 (4) | 0.062 (3) |
| 20.0 à 15.0 id. id. | 3.226 (7) | 5.82 (2) | 4.000 (2) | 0.071 | 0.121 (2) | 0.078 (2) |
| Supérieure à 20 millimètres par mètre. | 7.143 (3) | 11.111 (2) | 2.275 | 0.103 | 0.207 (2) | 0.053 |

L'usure des rails paraît plus forte dans les parties inclinées des lignes à simple voie que dans les parties en pente de même inclinaison des lignes à double voie. La *Railroad Gazette*, dans un article du 26 août 1887, a voulu expliquer ce fait par la circonstance, que sur les pentes l'action de l'adhérence s'exerce toujours dans le même sens, tandis que dans les parties à simple voie, elle s'exerce alternativement dans les deux sens : le grain de l'acier est donc sollicité tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre sens et il s'altère conséquemment plus vite.

V. — Influence du tracé.

L'influence des courbes, signalée par M. Colliard, est mise en évidence par les tableaux que nous avons donnés des usures constatées sur les postes d'observa-

tion établis par les diverses Administrations autrichiennes. Elle est d'autant plus grande que les rayons sont plus faibles. Cependant sa valeur absolue, quand on ne considère que l'usure en hauteur, est assez faible.

L'usure en surface des rails de la file intérieure est notablement plus grande que celle des rails de la file surhaussée.

Il aurait été intéressant de pouvoir rechercher comment cette différence dans l'usure varie à mesure que le surhaussement devient plus fort, mais les renseignements que nous avons sont trop peu nombreux pour cela. Nous ne pouvons qu'exprimer le désir de voir faire des observations dans cet ordre d'idées.

VI. — *Usure dans les voies des gares et aux abords.*

Ainsi que M. Couard l'a fait ressortir dans son mémoire de juin 1884, l'usure dans les gares et aux abords est notablement plus grande qu'en pleine voie. C'est probablement à cause de leur proximité de la gare de Saint-Jean, qu'il faut attribuer en partie, l'usure assez rapide des rails dont la note de la Compagnie du Midi fait mention.

De même, c'est à leur situation aux abords de la gare d'Oberhausen, que les rails de différentes marques, dont parle M. Funck dans l'article que nous avons rappelé au commencement de notre exposé doivent en partie leur usure prononcée.

VII. — *Influence des freins.*

L'usure rapide que les rails éprouvent sur les sections en pente prononcée, provient en grande partie de ce que les machinistes doivent y faire fréquemment usage des freins.

Nous avons vu qu'avec un matériel pour trains de voyageurs muni de freins continus, l'usure est plus rapide que lorsqu'il n'y a que des freins à main.

Cela provient probablement de ce que les freins sont appliqués avec plus de régularité lorsqu'ils sont à la disposition des machinistes.

Dans la statistique du *Verein*, plusieurs postes sont indiqués comme étant des postes sur lesquels les freins agissent. Il arrive fréquemment, et cela est indiqué en particulier dans les relevés transmis par la Compagnie Kaiser Ferdinand Nordbahn, qu'il n'y a qu'une partie très faible du tonnage qui passe les freins serrés sur le poste d'observation.

Il est facile de voir par les tableaux de cette Compagnie, que l'usure varie avec la fréquence de l'action des freins.

Nous rappellerons ici que la statistique du *Verein* donne les résultats comparatifs, auxquels la Direction royale de la rive gauche du Rhin est arrivée, en employant sur la section d'Aix-la-Chapelle à Ronheide, des sabots de freins de différentes matières.

Nous n'avons, en ce qui concerne l'usage comme freins de la contre-vapeur sur les fortes déclivités, pas d'autres renseignements que ceux de l'État Français et de la Compagnie du Midi. La contre-vapeur d'après eux donne de bons résultats.

VIII. — *Influence des conditions climatiques et atmosphériques.*

Les observations relatives à l'influence de l'exposition de l'état habituel de l'atmosphère sont encore trop peu nombreuses pour qu'on puisse en apprécier l'importance.

La Südbahn a trouvé que les rails des sections dans les vallées s'usent plus rapidement que ceux des sections en plateaux.

D'autre part, nous avons vu que les rails en Hollande s'usent plus rapidement qu'ailleurs. Cela paraît dû en partie à l'humidité habituelle de l'atmosphère de ce pays.

Mais l'état de pureté ou de transparence de l'atmosphère n'influe-t-il pas aussi sur l'usure du rail d'acier?

Au réseau de l'État belge, les trois sections sur lesquelles la circulation annuelle est la plus importante sont celles de Luttre à Namur, Malines à Anvers et Marloie (Namur) à Arlon.

Une carte figurative des transports, dressée pour l'année 1879, indique que le tonnage utile des marchandises sur ces sections dans les deux sens, a été d'environ :

| | |
|--|-----------|
| Tonnes entre Charleroi et Namur. | 2,275,000 |
| — Arlon et Marloie. | 2,500,000 |
| — Malines et Anvers | 1,750,000 |

La circulation des trains de voyageurs sur la première et la troisième, qui sont sensiblement de niveau, est considérable : environ 21,000 trains par an dans chaque sens sur la première, et 18,000 sur la troisième.

Sur la ligne de Marloie à Arlon, la rampe moyenne est de 12^{mm}30, elle atteint 16^{mm}00 sur une grande partie du parcours. Le nombre de trains dans les deux sens réunis est d'environ 25,000, mais presque tous les trains de marchandises sont remorqués en double traction.

Or, l'usure moyenne annuelle des rails sur ces lignes, déduction faite des stations est :

| | |
|-------------------------------|----------------------|
| Sur Namur-Charleroy | 0 ^{mm} 362 |
| Sur Malines-Anvers | 0 ^{min} 267 |
| Sur Marloie-Arlon | 0 ^{mm} 300 |

Eu égard au profil, l'usure entre Charleroy et Namur est sensible; elle pourrait d'après nous être due en partie, à ce que les cheminées des nombreuses houillères fours à coke et usines métallurgiques qui se trouvent dans cette région mêlent à l'atmosphère, en grande abondance, des matières gazeuses et poussiéreuses qui exercent une action destructive sur les rails.

D'après le dictionnaire de chimie de M. Würtz, « la formation de l'acide azotique et de l'acide azoteux a été constatée comme coïncidant avec certains phénomènes d'oxydation. M. Cloez a constaté dans la patine des statues de bronze exposées à l'air la présence de l'azotite et de l'azotate de cuivre. » Ne pourrait il se produire des faits analogues en ce qui concerne les rails d'acier? Le fer décompose l'acide azotique avec formation d'azotate ferrique. La fumée qui s'échappe des cheminées des hauts fourneaux et des fours à coke doit contenir de l'acide sulfurique, qui attaque le manganèse avec production finale de protoxyde. Ce ne sont toutefois là que des hypothèses. Des expériences précises pourraient seules dire si elles sont fondées ou non.

IX. — *Influence du ballast.*

L'influence du ballast, si elle ne peut être déterminée exactement, n'en paraît pas moins réelle.

M. Coüard, dans un article sur les détériorations accidentelles ⁽¹⁾, fait ressortir celles qui ont pour cause l'emploi de sable pour augmenter l'adhérence des roues.

Si le ballast en sable paraît moins bon que les autres, ne faut-il pas l'attribuer à la même cause, c'est-à-dire que, soulevé au passage des trains, il s'interpose entre le bandage et le champignon et produit par le frottement des surfaces en contact une usure plus rapide de celles-ci?

Les ballasts purs et pesants, tels que les pierrailles et le gravier passé à la claie, donnent, au point de vue de l'usure, de bons résultats.

Nous n'avons pas de renseignements sur le ballast employé sur les lignes allemandes, mais on remarque, en parcourant la statistique du Verein, qu'en

⁽¹⁾ *Revue générale*, mai 1883.

règle générale l'usure sur les lignes qui traversent certaines parties industrielles est plus grande que sur les autres lignes.

Il est probable que, parmi les premières, beaucoup sont ballastées avec du laitier concassé et des cendrées d'usine qu'on trouve sur place, tandis que, sur les autres, le ballast est peut-être plus dur et moins poussiéreux.

Ainsi, sur les quatre postes de la ligne d'Urmetz à Coblenz, appartenant à la Direction royale de la rive gauche du Rhin, les rails de l'usine Hörde y réclament le passage de 28.57 à 30.38 millions de tonnes pour être usés de 1^{mm}00, tandis que les mêmes rails, sur la ligne de Langenfeld à Beurath et Duisbourg-Oberhausen, subissent l'usure de 1^{mm}00 après le passage de 10 à 15 millions de tonnes.

X. — *Influence des tunnels.*

L'influence de l'humidité dans les tunnels a été mise en évidence par M. Couïard dans l'article de la *Revue générale*, auquel nous avons déjà fait tant d'emprunts.

Toutefois, les conclusions auxquelles cet ingénieur arrive, que dans les conditions ordinaires, quel que soit le trafic, la durée d'un rail dans un long tunnel est comprise entre huit et douze ans, paraissent trop générales et surtout trop pessimistes, puisque la Compagnie de la Suisse occidentale et du Simplon a pu remployer les rails qui avaient été pendant quinze ans dans un tunnel très humide, long de 480 mètres, en rampe de 18 à 20 millimètres et en courbe de 400 à 450 mètres.

D'autre part, le chemin de fer du Gothard constate que dans les tunnels longs, humides et mal ventilés, il faut treize ans pour enlever une couche de 1 millimètre. Les rails du Gothard sont en acier doux et contiennent beaucoup moins de manganèse que les rails durs de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

XI. — *Augmentation de la résistance à l'usure.*

Les observations dont nous avons rendu compte ne sont pas tout à fait concordantes.

Il semble cependant qu'on puisse admettre que la règle avancée par M. Couïard se vérifie toutes les fois qu'aucune action extérieure ne vient altérer la résistance naturelle des rails.

Elle se vérifie, en tout cas, d'après la statistique du Verein, pour les rails

d'Oberhausen, — dont nous avons déjà plusieurs fois parlé, — ainsi qu'on le voit par le tableau suivant :

| Numéros de la statistique du Verein de : | | Situation des rails. | Usines de provenance. | Usures en hauteur constatées entre les mesurages. | | Usures en surface constatées entre les mesurages. | | Nombre de millions de tonnes qui correspondent à une usure en hauteur de 1 mill. d'après les mesurages. | | Nombre de millions de tonnes correspondant à une usure en surface de 1 mill. carré d'après les usures constatées par les mesurages. | |
|--|------|----------------------|-----------------------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|
| 1881 | 1884 | | | 1-2 | 1-3 | 1-2 | 1-3 | 1-2 | 1-3 | 1-2 | 1-3 |
| 248 | 345 | File intérieure. | Krupp . . | 2.59 | 3.54 | 138.6 | 187.6 | 7.03 | 9.43 | 0.131 | 0.178 |
| 250 | 347 | | Hoesch . . | 2.85 | 2.95 | 155.9 | 156.4 | 6.40 | 11.24 | 0.117 | 0.213 |
| 252 | 349 | | Hörde . . | 2.96 | 3.49 | 156.9 | 185.0 | 6.15 | 9.52 | 0.116 | 0.180 |
| 247 | 344 | File extérieure. | Krupp . . | 1.99 | 2.96 | 106.3 | 156.9 | 9.16 | 11.24 | 0.171 | 0.212 |
| 249 | 346 | | Hoesch . . | 2.50 | 4.58 | 135.0 | 251.9 | 7.29 | 7.56 | 0.135 | 0.132 |
| 251 | 348 | | Hörde . . | 2.78 | 4.08 | 148.9 | 224.4 | 6.55 | 6.74 | 0.123 | 0.148 |

NOTA. — Le premier mesurage a été fait en avril 1877; le deuxième, en mai 1882; le troisième, en juin 1885.

A cette dernière date, les rails étaient dans les voies depuis 20 ans et 3 mois, et le tonnage total supporté était de 72,915,000 tonnes.

Entre le premier et le deuxième mesurage, le tonnage supporté a été de 18,210,000 tonnes.

Entre le premier et le troisième mesurage, le tonnage supporté a été de 33,315,000 tonnes.

CHAPITRE II.

Usure de l'âme.

Nous n'avons guère reçu de renseignements concernant l'usure de l'âme. Elle s'use, comme le champignon, sous l'effet de la rouille dans les parties humides.

Les usures constatées à plusieurs rails posés dans la station de Crewe et dont nous avons donné les croquis, d'après le mémoire de M. Price Williams, inséré dans les *Minutes of Proceedings*, prouvent que, lorsque les rails sont dans des voies très parcourues, l'usure due à la fatigue s'étend sur tout leur pourtour, et celle de l'âme et de la partie inférieure peut être aussi marquée que celle du champignon.

Il faudrait donc que des observations fussent faites, pour déterminer les conditions dans lesquelles cette usure se produit et quelles sont les causes intérieures ou extérieures qui peuvent l'activer.

Aux abouts des rails, les éclisses pénètrent plus ou moins dans les faces inclinées des parties du champignon et du patin contre lesquelles elles s'appuient.

Le martelage qui se produit lors du passage est accompagné d'une série de petits frottements qui usent les surfaces en contact. Ces frottements paraissent devoir être d'autant plus forts que la vitesse des trains et les charges transmises par les roues aux rails sont plus grandes.

Quant à l'influence de l'ouverture plus ou moins grande de l'angle d'éclissage, elle n'apparaît pas à première vue.

Au chemin de fer de l'État, en France, on a observé que les rails placés entre les bornes kilométriques 6 et 17 de la ligne de Tours à Olonnes présentent dans les parties où portent les coussinets une légère usure à l'intérieur de la voie, 0^{mm}5 environ. On n'a pas trouvé de diminution d'épaisseur aux abouts ni au milieu des portées.

CHAPITRE III.

Usure du patin ou du bourrelet inférieur.

Nous n'avons, en ce qui concerne l'usure du bourrelet inférieur, que les renseignements de la Compagnie du Midi.

Le bourrelet s'use au droit des coussinets, et cette usure, aussi importante que celle du champignon supérieur, paraît être en rapport avec le tonnage.

Au chemin de fer de l'État belge, on a constaté que sur les lignes très parcourues, le patin s'use au droit des appuis d'environ 0.1 millimètre par an. Lorsqu'entre les appuis et le rail il y a de selles, l'usure est plus rapide. Elle ne se constate au contraire guère lorsqu'on interpose une matière moins dure, telle que feutre, ainsi que le mentionne la compagnie de l'Est.

On a également constaté à l'État belge que certains ballasts corrodent le patin des rails.

Le porphyre concassé paraît avoir très peu d'influence, mais les cendres d'usines et le laitier granulé exercent une action bien caractérisée sur toute la partie du rail qu'ils entourent.

En résumé, l'usure du patin n'a, de même que celle de l'âme, fait l'objet

d'aucune observation précise. L'attention, comme nous l'avons dit en commençant, n'a jusqu'à ce jour été dirigée que sur l'usure du champignon de roulement. Il est avéré cependant que le patin s'use et quelquefois, comme on peut le voir, rapidement.

Il convient de suivre cette usure, d'autant plus que le patin plonge presque toujours dans le ballast, et par conséquent les détériorations qu'il subit ne se constatent que lorsqu'on découvre la voie. Encore faut-il procéder à une inspection minutieuse du rail pour s'apercevoir que son patin a perdu 1 à 2 millimètres. Le patin n'ayant en général vers les bords qu'un centimètre d'épaisseur, une usure de 2 millimètres réduit cette épaisseur d'un cinquième, et elle correspond comme poids à une perte d'environ 50 p. c. supérieure à une usure du champignon de même hauteur.

CONCLUSIONS.

Les conclusions qui se dégagent de notre exposé, c'est qu'on ne pourrait actuellement établir que quelques lois très générales. Il faudrait pour pouvoir faire plus que les Administrations adhérentes au Congrès établissent, à l'exemple de ce que font celles affiliées au Verein, des postes d'observation en nombre assez grand pour pouvoir étudier l'influence qu'ont sur des rails de mêmes formes, poids et conditions de fabrication, les circonstances diverses qui caractérisent les endroits où ils sont mis en œuvre.

Ces circonstances peuvent être extérieures, dépendre du profil et du tracé, ainsi que de l'intensité des charges supportées, de leur vitesse et de la manière dont elles circulent.

Dans le formulaire ci-après que nous nous permettons de soumettre aux délibérations du Congrès, nous avons indiqué tous les renseignements qui devraient être fournis pour analyser la marche de l'usure et permettre finalement de déterminer ses lois. Ces formulaires dûment remplis, devraient être transmis à des époques fixes à convenir à une administration chargée de les centraliser, et de les coordonner dans un recueil statistique. Il ne serait toutefois peut-être pas sans utilité de remettre la question de l'usure régulière des rails à l'ordre du jour du Congrès qui suivra en 1891 celui de Paris, et de mettre à profit pour la rédaction d'un questionnaire définitif, les renseignements nouveaux qu'on pourrait recueillir dans l'intervalle.

Post-scriptum. — Au moment de donner le bon à tirer de notre exposé, nous recevons le numéro de juillet 1889 de la *Revue générale* qui contient un impor-

tant mémoire intitulé : « Note sur la durée des rails d'acier. » Dans ce mémoire, que nous n'avons encore pu que parcourir rapidement, M. Coüard donne des renseignements sur les observations les plus récentes de la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Ceux que la question de l'usure des rails d'acier intéresse, liront ce mémoire avec une attention bien justifiée par l'autorité qui s'attache aux études antérieures de M. Coüard.

Nous avons de même reçu trop tard pour en faire part dans notre exposé, les renseignements contenus dans une note de l'Administration des chemins de fer de l'État belge qui sera publiée séparément dans le *Bulletin*. Nous ne pouvons qu'y renvoyer le lecteur.

1^{RE} NOTE

PAR

L'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ AUSTRO-HONGROISE PRIVILÉGIÉE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT
(RÉSEAU HONGROIS).

RÉPONSES AUX NUMÉROS DU QUESTIONNAIRE DU 3 AVRIL 1889 (1)

§ 1^{er}. — *Usure régulière du champignon de roulement.*

Nos observations ne s'étendent qu'à l'usure de la tête du rail, et il existe à cet effet des rails d'observation dont le mesurage a lieu périodiquement.

Sur les rails posés en 1879 dans la voie, il a été fait jusqu'à présent quatre mesurages, effectués pendant les années 1880, 1882, 1885 et 1888, et il a été constaté 1 millimètre d'usure dans la hauteur du rail, par le passage d'un poids brut de 55,560,000 tonnes.

Les renseignements concernant l'usure de ces rails placés dans des postes d'observation, sont les suivants :

- 1° Le profil transversal du rail est indiqué dans le dessin ci-joint ;
- 2° Aire de la section totale du rail, 4,210 millimètres carrés ;
- 3° Module de flexion $\frac{863}{64} = 13,5$;
- 4° Poids par mètre courant, 33 kilogrammes. Longueur du rail, 9 mètres ;
- 5° Inclinaison du rail dans la voie, 1/16 ;
- 6° Degré de conicité des bandages, 1/20 ;
- 7° La nature du métal est l'acier coulé et sa composition chimique est : Carb., 0.314 ; Sil., 0.053 ; Mng., 0.169 ; Ph., 0.070 ; Sulf., 0.022 ; Cu., 0.026 ; Fe., 99.346 ; — Résistance absolue par millimètre carré, 56^k1. Contraction pour cent du profil primitif = 32.8 ;
- 8° La dureté relative n'est pas connue ; mais on sait que la résistance absolue, à la rupture du rail, par rapport à celle du bandage, est dans la proportion de 10 : 11 ;
- 9° Les appuis consistent en traverses en bois ; l'espacement maximum des appuis est de 0^m^m950, les joints sont suspendus ;
- 10° Éclisses-cornières ;
- 11° Le ballast consiste en gravier de carrière passé à la claie ; son épaisseur est de 45 centimètres ;

(1) Ce questionnaire est reproduit *in extenso* dans l'exposé du rapporteur.

12° Température normale de la zone tempérée; neiges abondantes en hiver; pluies au printemps et en automne;

13° Le poste d'observation se trouve sur un terrain sec et de niveau;

14° Le rail d'observation, posé le 10 septembre 1879, est resté jusqu'au 20 septembre 1884 dans une ligne à simple voie; depuis, la seconde voie a été posée. La ligne à double voie qui en résulte, est horizontale et en alignement droit; la voie est située du côté droit, dans le sens du kilométrage de la ligne;

15° Des mesures ont été faites aux époques suivantes: les 5 novembre 1880, 14 avril 1882, 13 avril 1885, 3 mai 1888. Le rail d'observation a été posé le 10 septembre 1879.

Entre cette dernière date et celle du premier mesurage, il a circulé sur le rail placé dans le poste d'observation, en 361 jours:

| | |
|---|----------------|
| 1,444 trains express voyageurs avec une vitesse moyenne de. | 58 kilomètres. |
| 1,444 — ordinaires voyageurs — — . . . | 40 — |
| 5,054 — — marchandises — — . . . | 25 — |

avec une charge brute totale de 3,240,000 tonnes.

Le passage de ces trains n'a fait constater aucune usure dans la hauteur du rail.

Entre le premier et le second mesurage, il a circulé sur le rail placé dans le poste d'observation, en 525 jours:

| | |
|---|----------------|
| 2,100 trains express voyageurs avec une vitesse moyenne de. | 58 kilomètres. |
| 2,100 — ordinaires voyageurs — — . . . | 40 — |
| 7,350 — — marchandises — — . . . | 25 — |

avec une charge brute totale de 4,715,000 tonnes.

Le passage de ces trains a fait constater une usure de 0^{mm}09 dans la hauteur du rail.

Entre le second et le troisième mesurage, il a circulé en 1,095 jours:

| | |
|---|----------------|
| 5,475 trains express voyageurs avec une vitesse moyenne de. | 60 kilomètres. |
| 5,475 — ordinaires voyageurs — — . . . | 39 — |
| 16,425 — — marchandises — — . . . | 25 — |

avec une charge brute totale de 14,744,000 tonnes.

Le passage de ces trains a fait constater une usure de 0^{mm}16 dans la hauteur du rail.

Entre le troisième et le quatrième mesurage, il a circulé en 1,116 jours:

| | |
|---|---------------|
| 4,464 trains express voyageurs avec une vitesse moyenne de. | 62 kilomètres |
| 4,464 — ordinaires voyageurs — — . . . | 39 — |
| 13,392 — — marchandises — — . . . | 25 — |

avec une charge totale brute de 18,418,000 tonnes.

Le passage de ces trains a fait constater une usure de 0^{mm}09 dans la hauteur du rail;

16° Charge maxima sur les essieux 13 tonnes;

17° Il n'existe pas de sections d'observation où les trains circulent à freins serrés;

18° Freins à main et freins à vide, en bois de peuplier et à tringles de tension en acier.

2^e NOTE

PAR

L'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER GRAND CENTRAL BELGE.

RÉPONSES AUX NUMÉROS DU QUESTIONNAIRE DU 3 AVRIL 1889 (1)

§ I. — *Usure régulière du champignon de roulement.*

4° Les rails ont 6^m20 et 6^m16 de longueur, leur poids est de 37 kilogrammes par mètre courant;

5° L'inclinaison du rail dans la voie est de 1/20;

6° Le degré de conicité des bandages est de 1/20;

7° Acier Bessemer; les conditions d'allongement, de striction et de résistance au choc sont celles du cahier des charges du chemin de fer de l'État belge;

8° Le métal pour rail est moyennement dur;

9° Traverses en bois, joints appuyés, portée d'about, 75 centimètres, portée intermédiaire, 94 centimètres;

10° Éclissage ordinaire;

11° Poste n° 1 : pierrailles, 20 centimètres d'épaisseur sous les billes;

— n° 2 : pierrailles, — —

— n° 3 : gravier de rivière, 15 — —

12° Poste n° 1 : tranchée humide entre les stations de La Roche et de Villers-la-Ville;

— n° 2 : tranchée dans le roc entre les stations de Villers-la-Ville et de Tilly;

— n° 3 : remblai sur terrain sec entre les stations d'Eygenbilsen et de Munsterbilsen,

13° B. — Poste n° 1 : inclinaison de 1/100 sur toute la longueur. 10 p. c. du nombre total de rails posés en ligne droite; 90 p. c. du nombre total de rails posés en courbe de 1000 mètres rayon;

Poste n° 2 : inclinaison de 1/100 sur toute la longueur. 100 p. c. du nombre total de rails posés en ligne droite;

Poste n° 3 : inclinaison de 1/100 sur toute la longueur. 100 p. c. du nombre total de rails posés en ligne droite.

(1) Ce questionnaire est reproduit *in extenso* dans l'exposé du rapporteur.

Le dévers est de 42 millimètres et le surécartement de 10 millimètres.

14° Le poste n° 1 comprend 122 rails, dont le premier mesurage a eu lieu le 15 janvier 1879 lors de la pose, le deuxième mesurage le 1^{er} janvier 1882, le troisième le 1^{er} janvier 1885, et le dernier le 1^{er} avril 1888.

Au deuxième mesurage, pour une circulation :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 4,518 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 615,000 tonnes, et 2° de 5,324 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,166,000 tonnes (vitesse, 60 kilomètres à l'heure, trains de voyageurs, et 25 kilomètres à l'heure, trains de marchandises);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 4,535 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 606,000 tonnes, et 2° de 5,363 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,005,000 tonnes (vitesse, 60 kilomètres à l'heure, trains de voyageurs, et 25 kilomètres à l'heure, trains de marchandises);

Nous avons constaté une usure moyenne de :

0^{mm}80 pour les rails situés en courbe;
0^{mm}60 — — — ligne droite.

Au troisième mesurage, pour une circulation (en plus entre les deux derniers mesurages) :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 5,101 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 669,000 tonnes, et 2° de 5,710 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,978,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 5,115 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 673,000 tonnes, et 2° de 5,610 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,175,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de :

1^{mm}38 pour les rails situés en courbe;
1 millimètre pour les rails situés en ligne droite.

Au dernier mesurage, pour une circulation (en plus entre les deux derniers mesurages) :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 6,106 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 777,000 tonnes et 2° de 5,316 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,866,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 6,113 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 776,000 tonnes, et 2° de 5,190 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,199,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de :

1^{mm}80 pour les rails situés en courbe;
1^{mm}42 — — — ligne droite.

Le poste n° 2 comprend 59 rails, dont les mesurages ont eu lieu aux mêmes époques que celles ci-dessus.

Au deuxième mesurage, pour une circulation :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 4,512 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 615,000 tonnes, et 2° de 5,318 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,631,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 4,512 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 608,000 tonnes, et 2° de 5,381 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,048,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne de 0^{mm}90.

Au troisième mesurage, pour une circulation en plus :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 5,104 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 671,000 tonnes, et 2° de 5,685 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,985,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 5,143 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 673,000 tonnes, et 2° de 5,608 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,232,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de 1^{mm}38.

Au quatrième mesurage, pour une circulation en plus :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 6,111 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 778,000 tonnes, et 2° de 5,313 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,894,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 6,112 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 777,000 tonnes, et 2° de 5,190 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 2,199,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de 1^{mm}59.

Le poste n° 3 comprend 61 rails, dont le premier mesurage a eu lieu le 23 septembre 1879; le deuxième mesurage le 1^{er} janvier 1882; le troisième mesurage le 1^{er} janvier 1885, et le dernier le 1^{er} avril 1888.

Au deuxième mesurage, pour une circulation :

A. — Dans le sens de la rampe : 1° de 3,324 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 393,000 tonnes, et 2° de 2,843 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 805,000 tonnes (vitesse, 55 kilomètres à l'heure, trains de voyageurs, et 22 kilomètres à l'heure, trains de marchandises);

B. — Dans le sens de la pente: 1° de 3,314 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 408,000 tonnes, et 2° de 2,522 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 758,000 tonnes (vitesse, 60 kilomètres à l'heure, trains de voyageurs et 25 kilomètres à l'heure, trains de marchandises);

Nous avons constaté une usure moyenne de 0^{mm}76.

Au troisième mesurage, pour une circulation en plus :

A. — Dans le sens de la rampe: 1° de 4,414 trains de voyageurs, correspondant à un tonnage de 518,000 tonnes et, 2° de 3,807 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,186,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente : 1° de 4,447 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 536,000 tonnes et de 2° 3,387 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 1,175,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de 1^{mm}76

Au quatrième mesurage, pour une circulation en plus :

A. — Dans le sens de la rampe: 1° de 5,008 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de

578,000 tonnes, et 2° de 3,117 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 895,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

B. — Dans le sens de la pente: de 1° 5,011 trains de voyageurs correspondant à un tonnage de 595,000, tonnes et 2° de 2,837 trains de marchandises correspondant à un tonnage de 859,000 tonnes (mêmes vitesses que ci-dessus);

Nous avons constaté une usure moyenne totale depuis le premier mesurage de 1^{mm}91.

15°. — Pour les postes 1 et 2, la charge maxima sur les essieux moteurs est de 11,700 kilogrammes pour trains de voyageurs, et de 13,200 kilogrammes pour trains de marchandises.

Pour le poste n° 3, la charge maxima est de 11,700 kilogrammes pour les trains de voyageurs, et de 14,700 kilogrammes pour les trains de marchandises.

16°. — Néant.

17°. — Sur les postes 1 et 2, les machines et le matériel pour trains de voyageurs et pour trains de marchandises sont munis de freins à vis.

Sur le poste 3, les machines et le matériel roulant pour trains de marchandises sont munis de freins à vis; les machines et le matériel roulant pour trains de voyageurs sont munis par moitié de freins à vis et de freins continus système automatique Smith-Hardy.

Sur toute l'étendue des trois postes et dans le sens de la pente, tous les trains de marchandises circulent à freins serrés; le tonnage sur lequel l'action des freins s'applique est celui renseigné au 15° relatif aux trains de marchandises.

§ II. — USURE DE L'ÂME.

Aucune observation n'a été faite sur l'usure de l'âme.

§ III. — USURE DU PATIN.

Aucune observation n'a été faite sur l'usure du patin.

3^e NOTE

PAR

L'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GOTHARD.

Observations préliminaires.

Les rails sont en acier Bossoner et Thomas, résistance à la rupture : de 55 à 65 kilogrammes; allongement, 18 à 20 p. c. sur 200 millimètres; on procède rarement à des analyses chimiques. L'une d'elles, faite sur quatre rails, a donné la composition suivante :

| | MOYENNE. | MAXIMUM. |
|--------------------------------|----------|----------|
| Carbone en pour cent | 0.25 | 0.285 |
| Silicium — | 0.03 | 0.184 |
| Phosphore — | 0.064 | 0.083 |
| Soufre — | 0.07 | 0.089 |
| Manganèse — | 0.38 | 0.465 |

Les rails ont pour la plupart 8 mètres de longueur; poids par mètre, de 36 à 37 kilogrammes; hauteur, 130 millimètres; largeur du patin, 110 millimètres; largeur du champignon, 60 millimètres; épaisseur de l'âme, 13 millimètres.

Au printemps de 1884, c'est-à-dire après deux années d'exploitation, nous avons ordonné une enquête sur l'usure des rails d'acier placés dans les voies; à cet effet on a procédé comme suit:

Les deux rails du point à observer sont retirés périodiquement et pesés avec la crasse et la rouille adhérent au métal, le rail gauche est alors replacé dans la voie; l'autre est soigneusement nettoyé, on en racle la crasse et la rouille et on le frotte longuement avec une solution acide; le

rail est ensuite essuyé, séché et repesé; puis, à 1 mètre des deux extrémités et au milieu de la longueur, on mesure avec un gabarit la hauteur du champignon; après cette opération la barre est encore lavée avec une solution de soude pour neutraliser l'acide, et replacée dans la voie comme la première.

Lors du premier pesage un troisième rail a été nettoyé et pesé exactement, puis déposé à côté du point soumis à l'observation; dans la suite, cette troisième barre sera nettoyée, pesée et de nouveau déposée en même temps que les deux rails de la voie.

La perte de poids subie par le rail et la diminution de la hauteur du rail une fois connues, on peut déterminer l'usure du champignon et la rouille; 1 millimètre d'usure du champignon équivaut à une perte de poids de 3k75 pour une barre de 8 mètres de longueur, une couche de 1 millimètre sur toute la surface du rail correspond un poids de 31 kilogrammes.

La comparaison des résultats obtenus sur les rails de voies avec ceux fournis par les barres déposées latéralement, permet de reconnaître si et dans quelle mesure le passage des trains sur les rails a une influence au point de vue de la rouille.

| RÉSULTATS PRINCIPAUX DES RECHERCHES FAITES SUR L'USURE ET LA ROUILLE DES RAILS. | | Dans les longs tunnels. | | Sur les autres parties de la ligne. | |
|--|------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | | RAIL | | RAIL | |
| | | sur voie. | déposé latéralement. | sur voie. | déposé latéralement. |
| 1. Perte de poids entre le premier et le dernier pesage (environ 3 1/2 années) | maximum, kilog. | 28.40 | 16.40 | 3.41 | 1.85 |
| | moyenne, — | 18.30 | 10.91 | 1.87 | 0.55 |
| 2. Perte en hauteur par l'usure en 3 1/2 années. | maximum, millim. | 4.60 | " | 0.80 | " |
| | moyenne, — | 2.80 | " | 0.42 | " |
| 3. Épaisseur de la couche détruite annuellement par la rouille . . . | maximum, — | 0.120 | 0.138 | 0.014 | 0.016 |
| | moyenne, — | 0.072 | 0.098 | 0.002 | 0.005 |
| 4. Perte annuelle en hauteur par l'usure du champignon. | maximum, — | 1.20 | " | 0.20 | " |
| | moyenne, — | 0.75 | " | 0.12 | " |
| 5. Perte en hauteur ou usure du champignon pour 1 million de tonnes transportées | maximum, — | 0.69 | " | 0.19 | " |
| | moyenne, — | 0.44 | " | 0.09 | " |

Conclusions.

a. L'action de la rouille est si faible sur les sections à ciel ouvert et dans les tunnels courts et secs, qu'elle n'entre pas en ligne de compte pour la détermination de la durée de service des rails.

b. Dans les tunnels longs, humides et mal ventilés, l'usure au champignon est, par suite de l'action de la rouille, six fois plus forte qu'en conditions normales; en dehors des surfaces de rou-

lement, la rouille enlève dans l'espace de treize années environ une couche d'acier de 1 millimètre d'épaisseur.

c. Les rails sur voie se rouillent moins que les barres déposées latéralement.

d. L'usure de 0^{mm}09 pour 1 million de tonnes est faible comparativement aux données fournies par la statistique des chemins de fer allemands, qui accusent, pour le même nombre de tonnes et pour voies en fortes courbes et rampes de 0 à 3 p. m., de 0^{mm}07 à 0^{mm}10 et en rampes de 20 à 25 p. m., de 0^{mm}03 à 0^{mm}05

Lucerne, 20 mai 1889.

4^E NOTE

PAR

L'ADMINISTRATION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

PLANCHE IV

L'Administration des chemins de fer de l'Etat belge n'a pas, jusqu'à ce jour, fait tenir d'attachements pour déterminer l'influence qu'ont, sur l'usure des rails d'acier, les qualités du métal et les différentes circonstances énumérées au questionnaire envoyé aux Administrations adhérentes.

En vertu de ses instructions intérieures, la limite d'usure que les rails en acier peuvent atteindre en voies principales sur les lignes à circulation rapide est fixée à 0^m012; elle est de 0^m015 sur toutes les autres lignes du réseau de l'Etat. Les rails usés de 0^m015 doivent être réemployés en voies accessoires des stations qui n'ont à supporter qu'une fatigue moyenne.

Les rails usés de 0^m017 sont mis hors d'usage.

Ces règles s'appliquent aux rails d'acier de 38 kilogrammes et non à ceux du poids de 52 kilogrammes. Ces derniers ne sont encore qu'en nombre relativement restreint dans les voies, et leur première pose, à titre d'essai, ne remonte qu'à une couple d'années.

Dans ces derniers temps, l'Administration a fait procéder au mesurage d'un assez grand nombre de rails de plusieurs lignes importantes du réseau, mais comme il n'a été tenu un compte exact ni du nombre de trains ou machines, ni du nombre de tonnes dont ces rails avaient supporté le passage, les usures constatées n'ont pu être rapportées à l'intensité de la circulation.

De plus, les cahiers des charges de fournitures de rails, tout en stipulant que le profil des barres doit être rigoureusement conservé sur toute leur longueur, admettent une tolérance pouvant aller, par barre, jusque 2 p. c. sur le poids qui résulte du gabarit.

On n'a donc pu déduire des mesurages que l'usure moyenne annuelle.

Le tableau ci-dessous donne cette usure pour plusieurs lignes et renseigne de plus le nombre

approximatif de trains qui roulent annuellement dans chaque sens, ainsi que la nature du ballast employé.

| LIGNES. | Usure moyenne annuelle en millimètres. | Nombre approximatif de trains dans chaque sens par an. | BALLAST. |
|----------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Malines-Anvers. | 0.267 | 21,000 | Pierrailles. |
| Bruxelles (Midi)-Hal | 0.351 | 25,500 | — |
| Namur-Charleroi | 0.362 | 18,000 | Pierrailles, laitiers et cendres. |
| Luttre-Marchiennes | 0.482 | 17,500 | Cendres. |
| Braine-le-Comte-Luttre | 0.373 | 15,000 | Pierrailles, laitiers et cendres. |
| Alost-Melle | 0.140 | 14,000 | Pierrailles. |
| Hal-Tournai | 0.153 | 7,300 | — |
| Bruxelles à Arlon. { | Palier. | 13,000 | — |
| | Rampe. | " | " |
| | Pente en-dessous de 7 millimètres. | " | " |
| | — au-dessus — | " | " |
| | Moyenne | " | " |

Ces chiffres supposent la marche de l'usure régulière; le nombre de trains et le tonnage transporté augmentant d'année en année, la diminution de hauteur ne pourrait pourtant être régulière que si la résistance à l'usure augmentait avec la circulation et dans un rapport semblable.

Des expériences précises à ce sujet nous font défaut.

Les lignes de Malines-Anvers, Bruxelles-Hal, Braine-le-Comte-Luttre-Namur, Alost-Melle peuvent être considérées comme des lignes de niveau. Entre Hal et Tournai, les pentes et rampes sont faibles, le maximum d'inclinaison est 0^m0067. La ligne de Bruxelles-Arlon est accidentée et son profil n'est qu'une succession de rampes et de pentes de 16 millimètres; la plupart des trains de marchandises y sont remorqués en double traction.

Tous les rails mis en œuvre depuis 1877 ont 9 mètres de longueur; ceux posés antérieurement ne présentent que 6 mètres.

L'espacement des supports est en moyenne de 750 millimètres sur toutes les lignes du relevé ci-dessus, sauf sur celle entre Braine-le-Comte-Luttre-Marchienne, où il n'y a que 10 traverses par couple de rails de 9 mètres ou 7 par couple de 6 mètres.

Le joint en porte-à-faux a été adopté en 1886 et depuis lors toutes les voies qui ont eu une réparation quelconque à subir ont été posées avec joints suspendus.

Cette circonstance a permis de mesurer sur plusieurs parties de lignes, dont on avait renouvelé les traverses sans remplacer les rails, l'usure subie par le patin dans les sections qui, primitivement, correspondoient à des appuis. Elle atteint sur les voies soumises à un trafic annuel de plus de 25,000 trains et ballastées en pierrailles, à peu près 1 millimètre par an; sur des voies dont le mouvement n'est que de 15,000 trains, mais qui sont ballastées, ou cendrées, ou en laitiers, il a été reconnu que la marche de l'usure du patin était plus rapide.

Des mesurages faits sur 40 rails pris en nombre égal sur deux postes situés sur la ligne de Braine-le-Comte à Luttre, ballasté l'un en pierrailles, l'autre en laitiers granulés et dont le système de joint a été modifié, ont donné les résultats suivants :

| | |
|---|---------------------|
| Poste en pierraille : usure au droit des anciens appuis | 6 ^{mm} 74 |
| — — usure à une des sections voisines | 5 ^{mm} 27 |
| | Différence. |
| | 1 ^{mm} 47 |
| Poste en laitier : usure au droit des anciens appuis | 7 ^{mm} 44 |
| — — usure dans les sections voisines | 5 ^{mm} 7 |
| | Différence. |
| | 1 ^{mm} 74 |

Ces deux postes étant contigus sont soumis rigoureusement au même trafic, ils sont tous deux en alignement; le second est en pente de 2 millimètres et le premier est de niveau. Sur le premier, les rails ont 9 mètres de longueur et sont supportés par 10 traverses; sur le second, ils ont 6 mètres et il y a 7 traverses. Ils ont eu l'un et l'autre le joint appuyé pendant environ douze ans.

Les mesurages sur la ligne du Luxembourg (Bruxelles-Arlon) ont donné comme résultat une usure plus rapide sur les paliers que sur les sections inclinées. Les paliers y sont, il est vrai, tous courts, et coïncident fréquemment avec des emplacements de stations. Le voisinage de celles-ci explique l'usure sur certains paliers.

D'autres paliers sont situés entre pente et rampe, et, par conséquent, soumis à un roulage exceptionnellement rapide.

Les mesurages faits dans certaines stations à grand mouvement ont fait ressortir que l'usure des rails y est très rapide. Ainsi, dans les stations de Marchienne, l'usure relevée correspond à environ 0^{mm}912 par an.

Sur la ligne de Bruxelles à Arlon, il y a deux points particulièrement fatigués. L'usure moyenne annuelle croit de 0^{mm}77 à 0^{mm}923 sur la partie de voie partiellement en pente de 0^m016 comprise entre le signal à distance et le disque d'arrêt de la station de Namur dans la direction de Bruxelles.

Dans la station d'Assesse, située à l'un des points culminants de la ligne, et où tous les trains de marchandises font arrêt pour permettre à la machine d'allège de changer de place et de se mettre en tête pour la descente, on trouve que l'usure annuelle correspond à 0^{mm}78.

L'influence de l'humidité et des vapeurs et produits de la combustion des machines dans les tunnels a été établie par les expériences suivantes :

A. Un rail en acier placé en mai 1875 dans la partie la plus humide du tunnel d'Overboulere (ligne de Gand à Braine-le-Comte), et retiré en juin 1888, pour causes d'avaries diverses, ne pesait plus que 181 kilogrammes; il avait donc perdu 47 kilogrammes, soit plus de 20 p. c. de son poids.

B. Le tunnel d'Overbouldaere fait partie d'une section à double voie dont le profil présente une inclinaison de 10 millimètres.

En juillet 1889, nous avons fait enlever de la voie en pente trois rails provenant de la même usine et pesés à la même date, c'est-à-dire en mai 1875. Ils ont été pesés et mesurés, et l'on a trouvé :

1° Pour le rail pris en dehors du tunnel vers Enghien, une usure de 5 millimètres, une perte de poids de 13 kilogrammes;

2° Pour celui pris dans la partie du tunnel la moins humide : usure, 7 millimètres; perte de poids, 25 kilogrammes,

Et enfin, 3° pour le rail pris dans la partie la plus humide du tunnel : usure, 15 millimètres; perte de poids, 33 kilogrammes.

C. Un rail enlevé de la voie en rampe de 10 millimètres en face du rail n° 1 de la voie en pente présentait une usure de 2^{mm}8, il avait perdu 11 kilogrammes de son poids.

D. Un rail n'ayant jamais servi en dépôt depuis 1881, en dehors du tunnel, près la tête nord, a été trouvé avoir conservé son poids à 1 kilogramme près.

Il ne faut toutefois pas perdre de vue que ces rails ont pu, comme nous l'avons dit, être fournis avec une tolérance en plus ou en moins de 2 p. c. (4¹/₂ au maximum pour une barre de 6 mètres).

Les croquis ci-joints (pl. IV) donnent le profil de différentes sections du rail dont il est question ci-dessus en premier lieu et retiré en juin 1888.

La composition de l'acier était :

| | |
|---------------------|--------|
| Carbone | 0.292 |
| Manganèse | 0.253 |
| Phosphore | 0.050 |
| Soufre | 0.026 |
| Silicium | 0.028 |
| Fer | 99.351 |

Des éprouvettes prises dans l'âme et le bourrelet ont donné l'une et l'autre, comme charge de rupture, 57¹/₂ par millimètre carré.

L'allongement pour la première éprouvette a été de 16.30, et pour la deuxième de 16.45.

E. Le tunnel de Godarville, d'une longueur de 642 mètres, construit à voie unique sur la ligne à double voie de Braine-le-Comte-Luttre, est très humide; la voie est en rampe de 0.327. Quatre rails, dont deux pris au milieu du tunnel et deux en dehors, l'un à la tête nord et l'autre à la tête sud, ont donné comme résultats des pesées et des mesurages, les chiffres suivants :

| | Côté Sud. | 1 ^{er} poste dans le tunnel. | 2 ^e poste dans le tunnel. | Côté Nord. |
|-------------------------------------|----------------|--|---|-----------------|
| Usure au droit des appuis | 8 millimètres. | 19 millimètres. | 16 millimètres. | 10 millimètres. |
| Usure entre les appuis. | 7 — | 16 — | 13 — | 7 — |
| Poids. | 316 kilog. | 279 kilog. | 292 kilog. | 301 kilog. |

Les rails ont 9 mètres de longueur et reposent sur dix appuis; ils ont été posés en 1882 et sont parcourus par environ 30,000 trains par an.

Ceux-ci font tous indistinctement arrêt à l'entrée et à la sortie du tunnel pour laisser monter et descendre le pilote qui les accompagne pendant leur passage à l'intérieur.

Les freins agissent donc à la tête nord et à la tête sud. Leur action toutefois doit, eu égard au profil de la ligne, être un peu plus énergique du côté nord que du côté sud.

L'ingénieur en chef directeur des voies et travaux,

E. GOFFIN.

Bruxelles, le 30 août 1889.

DISCUSSION EN SECTION

(1^{re} SECTION)

Séance du 16 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENTE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. DE BUSSCHERE

M. le Président. La parole est à M. De Busschere, ingénieur en chef aux chemins de fer de l'État belge, pour résumer l'exposé qu'il a rédigé de la question I, littéra B.

M. De Busschere. Messieurs, mon exposé étant assez long, je vous demanderai, pour gagner du temps, de pouvoir me borner à vous en donner une analyse succincte.

Il comprend d'abord le résumé d'un assez grand nombre d'articles parus dans diverses publications techniques, et passe ensuite en revue les renseignements envoyés par les Administrations adhérentes qui ont fait des observations sur la manière dont les rails d'acier se comportent dans leurs voies.

De l'ensemble de ces données, on peut déduire les circonstances diverses qui ont de l'influence sur la marche plus ou moins rapide de l'usure du champignon de roulement.

Vous savez que certains ingénieurs préconisent des rails en acier doux, tandis que d'autres trouvent les rails en acier dur plus résistants. Les résultats auxquels je suis arrivé en analysant les renseignements reçus sont discordants et justifient des divergences d'opinions.

On arrive à des conclusions à peu près semblables lorsqu'on compare les services de rails obtenus par des procédés de fabrication différents.

Il faudrait, d'après moi, que des observations précises fussent faites par un grand nombre de réseaux pour pouvoir arriver à déterminer exactement l'influence de la composition chimique et celle des procédés de fabrication.

Je regrette de n'avoir pas reçu en temps, pour en faire fruit dans mon exposé, le travail si complet que M. Coüard a publié dans le numéro de juillet, qui vient de paraître, de la *Revue générale des chemins de fer*. Il aurait de beaucoup facilité la tâche qui m'était imposée et m'aurait permis d'appuyer sur son autorité plusieurs déductions auxquelles je suis arrivé. M. Coüard établit la formule suivante :

$$N = \frac{10^6}{TV} \times \frac{1}{L^3} \times \frac{1}{1 + aD^2} \times C.$$

N est le nombre de trains correspondant à une usure en hauteur du champignon de 1 millimètre;

T, le tonnage moyen d'un train en tonnes de 1,000 kilogrammes;

V, la vitesse moyenne en kilomètres par heure;

I, le moment d'inertie de la section évaluée en centimètres;

L, l'espacement des traverses en mètres;

D, la déclivité en millimètres par mètre;

a, un coefficient égal à 0.023 pour les pentes, à 0.012 pour les rampes;

C, un coefficient de fabrication variable d'après la provenance.

Cette formule, comme vous voyez, fait intervenir la plupart des circonstances dépendant de la superstructure qui peuvent avoir de l'influence.

Voici comment, dans mon exposé, je m'exprime au sujet de ces circonstances (1) :

« Les renseignements recueillis sont encore trop incertains et trop peu nombreux pour permettre de discerner exactement l'influence que peuvent avoir sur l'usure :

- « 1° Le poids du rail;
- « 2° Son module de flexion;
- « 3° Sa longueur;
- « 4° Le profil de son champignon;

(1) Voir, chapitre I^{er} : Usure régulière du champignon de roulement; § IV : Résumé des causes d'usure; III : Dimensions des rails.

- « 5° La proportionnalité de ses trois parties;
- « 6° Le nombre et la nature des supports;
- « 7° Le système de joints (suspendus ou appuyés).
- « Il paraît cependant ressortir des statistiques déjà parues :
 - « 1° Que, toutes autres conditions étant égales, la résistance du rail à l'usure croît avec la résistance aux efforts verticaux ;
 - « 2° Que les supports en bois paraissent préférables ;
 - « 3° Qu'il est probable qu'au point de vue de l'usure en surface, le profil du champignon a une importance sérieuse, mais que, pour arriver à la déterminer, il faudrait faire des expériences comparatives et lever les profils d'un grand nombre de rails usés. »

La formule à laquelle M. Coüard est arrivé est donc assez complète. Les coefficients de provenance calculés par lui sont compris entre 0.37 et 1.20, c'est-à-dire qu'ils varient dans des limites assez étendues. Je pense que cela provient de ce qu'il ne tient pas compte de certaines circonstances, et, en premier lieu, du profil du champignon.

La statistique du Verein, pour les années 1879-1884, renseigne 140 profils de rails placés en observation et usés d'une façon irrégulière. L'examen de ces données fait voir qu'on ne peut méconnaître l'influence du profil, mais que, pour la déterminer rigoureusement, des observations comparatives nombreuses sont nécessaires.

L'influence des déclivités est parfaitement établie. Celle des courbes l'est également, mais elle est beaucoup plus faible que la précédente si l'on considère l'usure moyenne des rails des deux files opposées.

Dans son mémoire de juillet dernier, M. Coüard dit que l'étude de la variation du coefficient de détérioration met en relief, parmi les causes déterminantes, l'influence :

- 1° De la température ;
- 2° Du ballast.

Si la température a de l'influence sur les détériorations accidentelles, ce que tout le monde admettra volontiers, une circonstance de même ordre, la composition de l'atmosphère, en a une non moins incontestable sur la rapidité de l'usure régulière. Les faits démontrent qu'une atmosphère humide n'est pas favorable aux

rails qui contiennent beaucoup de manganèse. De même, une atmosphère remplie de fumée et de gaz, comme celle qui règne dans les contrées industrielles et charbonnières, active l'usure des rails d'acier.

J'exprime ici une opinion personnelle, non encore émise, mais elle est basée non seulement sur la citation que j'ai empruntée au dictionnaire de chimie de M. Würtz, mais encore sur l'usure relativement forte qu'éprouvent à l'État belge et au Nord belge, les rails placés dans les voies situées aux environs de Charleroi et de Mons.

Quant à l'influence du ballast, elle ne se constate pas seulement quand on recherche le coefficient de détérioration accidentelle; elle se manifeste aussi lorsqu'on observe l'usure régulière. Il résulte, en effet, des renseignements que nous avons reçus, que les rails des voies ballastées en sable ou en cendrées s'usent plus rapidement, toutes choses égales d'ailleurs, que ceux des voies ballastées en gravier pur ou en pierrailles.

Enfin, je mentionnerai, pour terminer ce qui concerne l'usure du champignon, que les rails dans les tunnels et ceux aux abords des gares ont une vie beaucoup moins longue que ceux en pleine voie.

Nous n'avons pour ainsi dire obtenu aucun renseignement relatif à l'usure de l'âme; de même, nous n'avons que peu de données indiquant les circonstances qui ont de l'influence sur l'usure du patin. Ce que nous possédons de plus détaillé, ce sont les renseignements donnés par la note que M. Connesson, ingénieur de la Compagnie de l'Est, a publiée dans la *Revue générale* de janvier 1884, et ceux fournis par la note de l'État belge.

En résumé, messieurs, j'arrive à cette conclusion qu'on ne pourrait, dans la situation actuelle de la question, établir que quelques lois très générales; et je propose, en conséquence, que les Administrations adhérentes au Congrès fassent des observations régulières, dont les résultats seraient envoyés à une Administration chargée de les centraliser. Ce n'est qu'en multipliant les observations qu'on parviendra à déduire des lois plus rigoureuses et plus complètes que celles que nous connaissons aujourd'hui.

M. Sandberg (Suède). L'usure de l'acier dépend de la dureté, qui peut être produite physiquement et chimiquement: physiquement, par compression à température basse, c'est-à-dire par un laminage à une température la plus basse possible, et chimiquement, par la composition de l'acier, c'est-à-dire par sa teneur en carbone, en manganèse, en phosphore et en silicium.

La dureté produite par des moyens mécaniques est bien difficile à obtenir, aujourd'hui que nos laminoirs travaillent trop vite et recherchent la quantité plutôt que la qualité; de sorte que nous sommes obligés de nous attacher surtout à la dureté chimique, plus que dans l'ancien temps, où l'on réalisait la dureté en partie par voie physique et en partie par voie chimique. La tendance à obtenir, par la dureté chimique de l'acier, le maximum de résistance à l'usure a donc beaucoup augmenté. Mais on ne peut pas l'exagérer, car la sécurité est subordonnée à la qualité de la substance. C'est vouloir réaliser des économies au détriment de la sécurité que d'augmenter la dureté des rails légers ou de petite section; il faut naturellement proportionner le poids du rail au poids et à la vitesse de circulation du matériel roulant, et, ce poids et cette vitesse augmentant, il faut augmenter à la fois le poids du rail et la dureté de l'acier, mais pas celle-ci seulement.

M. Siegler (*France*). M. De Busschere propose, comme conclusion de son exposé, de dresser un formulaire de questions à poser aux diverses Administrations de chemins de fer pour permettre d'étudier les circonstances qui, dans des conditions déterminées, exercent une influence sur l'usure des rails d'acier. Un projet de formulaire est annexé à l'exposé. Je crois qu'il conviendrait d'en renvoyer préalablement l'examen à une commission. C'est le meilleur moyen de nous mettre promptement d'accord.

M. M. von Leber (*Autriche*). Il y a beaucoup de délégués qui n'ont pas pu prendre connaissance du formulaire proposé; il en est ainsi, notamment, de M. Hohenegger. Cela étant, il serait peut-être dangereux d'arrêter un formulaire qui pourrait n'être pas généralement approuvé. Que nous arrêtions un formulaire, je le veux bien, mais il ne faudrait pas l'imposer.

Il faut, je pense, laisser à chaque rapporteur le soin de recueillir les renseignements qui lui sont nécessaires; cela me paraît d'autant plus rationnel que tel renseignement qui nous semblerait aujourd'hui d'un très haut intérêt, peut n'en plus présenter dans deux ou trois ans.

M. De Busschere. Il est évident, comme le dit M. von Leber, que des renseignements, qui paraissent aujourd'hui d'un très haut intérêt, peuvent n'en plus présenter dans deux ou trois ans. Je me permettrai toutefois de faire observer que le temps dont les rapporteurs disposent pour faire l'exposé des questions à soumettre au Congrès est presque toujours trop court lorsqu'ils doivent, comme dans le présent cas, demander des renseignements statistiques en grand

nombre. J'ai reçu très tardivement plusieurs réponses au formulaire que j'avais envoyé.

Des Administrations ont même écrit que, pour satisfaire à toutes les demandes qui y figuraient, il leur faudrait plus de temps que celui dont elles disposaient.

C'est pour ces motifs qu'il est préférable, je pense, d'arrêter dès maintenant un formulaire. Les observations se feraient ainsi avec plus d'unité et les Administrations pourraient fournir les renseignements nécessaires dès que ceux-ci seraient demandés.

M. Michel (France). J'appuie la proposition de M. Siegler. Il faut nécessairement présenter, sous forme de tableau, les indications qu'on désire obtenir, de manière à pouvoir ainsi recueillir des renseignements comparables entre eux. Je ne dis pas que le formulaire que nous adopterons sera maintenu invariablement : ce sera simplement un cadre dans lequel viendront se condenser les données sur lesquelles un rapport pourra être fait et soumis, dans deux ans, à notre examen. En procédant ainsi, nous ne serons plus exposés à recevoir tardivement les renseignements sur lesquels nous avons à délibérer.

M. M. von Leber. Nous sommes tout à fait d'accord, avec M. Michel, qu'il y a des renseignements à recueillir pour pouvoir élucider certaines questions ; mais il n'en résulte pas qu'il faille arrêter, dès à présent, un formulaire.

M. De Busschere. Voici ce que je dis dans l'exposé : « Il ne serait, toutefois, peut-être pas sans utilité de remettre la question de l'usure des rails à l'ordre du jour de la session qui suivra, en 1891, celle de Paris et de mettre à profit, pour la rédaction d'un questionnaire définitif, les renseignements nouveaux qu'on pourrait recueillir dans l'intervalle. »

Dans ma pensée donc, le formulaire actuel n'est que provisoire, et on verra par son fonctionnement, d'ici à 1891, quelles modifications ou compléments il faudra y introduire pour pouvoir arrêter définitivement, à cette prochaine session, tous les renseignements qu'il convient de recueillir.

M. le Président. Je vais consulter la section sur le point de savoir si, en principe, elle adopte la rédaction du formulaire.

M. Siegler. On pourrait poser ainsi la question : « Y a-t-il intérêt à déterminer un cadre ou formulaire d'après lequel devront être recueillis les renseignements que les différentes Administrations de chemins de fer fourniront, pour le

prochain Congrès, sur la question de l'usure des rails. » Les Administrations ne pourront donner ces renseignements aux rapporteurs que si elles font faire par leurs agents, dès aujourd'hui, les constatations nécessaires. Il faut donc déterminer nettement les données statistiques que l'on désire obtenir et pour cela il importe qu'elles soient indiquées dans un formulaire.

— La section décide qu'il y a lieu de dresser un formulaire des renseignements à recueillir sur la question de l'usure des rails.

Elle charge MM. Bricka, De Busschere, Hohenegger, Michel et Siegler de lui soumettre un projet qui sera discuté dans une séance ultérieure.

Séance du 18 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. DE BUSSCHERE

La séance est ouverte à 2 heures 1/4.

M. le Président. Dans notre séance du 16 de ce mois, la section a nommé une sous-commission chargée d'examiner le formulaire proposé par M. De Busschere concernant la question I, littéra B : *Lois qui règlent l'usure des rails d'acier*. Je prie M. De Busschere de nous faire connaître le résultat de l'examen auquel cette sous-commission s'est livrée.

M. De Busschere indique les changements que la sous-commission propose d'apporter au projet de formulaire primitif. Il ajoute que la sous-commission a également reconnu la nécessité de dresser un formulaire de renseignements concernant les usures anormales et que M. Bricka s'est chargé d'en indiquer la substance.

M. Bricka (France). Nous avons pensé qu'il y aurait intérêt à étendre le questionnaire qui avait été proposé par M. De Busschere au sujet de l'usure des

rails d'acier. Les statistiques faites jusqu'à présent indiquent l'usure par millimètre, parce que, quand on a substitué le rail d'acier au rail en fer, on a constaté que le rail s'usait régulièrement.

En réalité, au moins depuis qu'on a fabriqué le rail non plus au creuset, mais au Bessemer, ou par le procédé Thomas, on a remarqué que ce n'est guère par suite d'usure régulière, mais, dans la plupart des cas, à la suite d'avaries anormales que les rails doivent être retirés des voies. Ces avaries anormales proviennent de fentes ou d'autres causes; M. Coñard, dans les différents articles qu'il a publiés dans la *Revue générale des chemins de fer*, met parfaitement en évidence les diverses causes de détérioration accidentelle.

Il est donc également intéressant, pour déterminer quelles sont les durées effectives qui correspondent aux différentes qualités d'acier, de savoir non pas de combien de millimètres les rails se sont usés, mais combien de rails pour cent il a fallu mettre au rebut dans un temps déterminé. C'est ce qui a engagé la sous-commission à proposer un questionnaire rédigé dans ce sens :

- Relevé des rails mis hors de service pour une cause quelconque;
- Désignation de la section considérée (déclivité maxima et rayon minimum);
- Provenance des rails;
- Mode de fabrication;
- Résistance par millimètre carré;
- Allongement (sur 200 millimètres) et contraction de la section de rupture;
- Profil du rail (Vignoles ou double champignon);
- Poids par mètre courant;
- Module d'inertie (I/h) ⁽¹⁾;
- Importance du trafic (de 0 à 50,000 tonnes, de 50,000 à 100,000 tonnes, puis de 100,000 en 100,000 tonnes);
- Charge maxima des essieux;
- Age moyen des voies;
- Nombre de rails retirés par suite de rupture;
- — — par suite de fente longitudinale;
- — — pour toute autre cause.

Nota. — Les renseignements à fournir comprendront la totalité des rails mis

(1) I , moment d'inertie;

h , hauteur de la fibre la plus fatiguée au-dessus de l'axe neutre;

hors de service sur chaque réseau. La division en sections sera faite par chaque Administration, de manière à séparer autant que possible, pour chaque type de rail, les sections comprenant des rails dont la provenance et surtout le mode de fabrication diffèrent et celles qui correspondent aux diverses importances du trafic indiqué.

Ces renseignements paraissent avoir une importance réelle, puisque, après un certain nombre d'années, ils permettront de connaître la durée probable des rails par rapport à l'intensité du trafic et aussi de savoir quelle est l'influence du mode de fabrication sur la qualité effective des rails, c'est-à-dire sur le service qu'on peut en attendre.

M. M. von Leber. Nous avons pensé qu'il serait intéressant de connaître le quotient d'inertie, et l'expression « module d'inertie » dont nous nous sommes servis a sa raison d'être, car elle est employée dans la littérature technique.

J'ai demandé aussi, à titre de concession, que l'on mit, non pas I sur N , mais I sur h (hauteur). Cette formule peut, je pense, être adoptée sans inconvénient.

M. Bricka. J'avais adopté le terme « moment d'inertie » parce qu'il se trouvait dans le formulaire de M. De Busschere; mais je crois aussi que l'expression proposée par M. von Leber est préférable, quoiqu'elle ne soit pas très usitée en France.

M. M. von Leber. L'expression « moment d'inertie » peut donner lieu à confusion. Le moment d'inertie est celui où la résistance est tenue en équilibre, et le moment de la résistance tient en équilibre le moment de flexion.

M. Michel. Une explication sera nécessaire, car notre personnel ne saurait pas ce que signifie I sur h .

M. M. von Leber. J'appelle « module d'inertie » le quotient du moment d'inertie par la hauteur de la fibre la plus fatiguée au-dessus de l'axe neutre.

— Les propositions de la sous-commission sont adoptées.

Séance du 20 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. DE BUSSCHERE

M. le Président. La parole est à M. Perk pour donner lecture à la section de son rapport résumant la discussion de la question I, littéra B.

M. Perk. « Pour ce qui regarde la question I, littéra B, *Lois qui règlent l'usure des rails d'acier*, la section avait à sa disposition un exposé très étendu de M. Louis De Busschere, ingénieur en chef aux chemins de fer de l'État belge.

« M. De Busschere y a donné, en premier lieu, un aperçu très complet des publications sur la matière, puis il nous a fait passer en revue les réponses reçues au questionnaire concernant l'usure régulière du champignon de roulement, de l'âme et du patin ou du bourrelet inférieur.

« Ces renseignements ne sont pas assez complets pour mesurer l'action des causes multiples qui interviennent dans la plupart des cas.

« Ces causes peuvent être :

- La composition chimique;
- Les procédés de fabrication;
- Les dimensions des rails;
- La nature et l'espacement des traverses;
- L'influence des déclivités;
- L'influence du tracé;
- L'emplacement des rails dans les voies des gares et aux abords;
- L'influence des freins;
- L'influence des conditions climatiques et atmosphériques;
- L'influence du ballast et
- L'influence des tunnels.

« Quant à l'usure de l'âme, on manque de renseignements; elle s'use comme le champignon sous l'effet de la rouille sur les parties humides et aussi par la fatigue, car l'usure par la fatigue s'étend sur tout le pourtour des rails.

« Pour ce qui concerne l'usure du patin ou du bourrelet inférieur, on a observé seulement que le bourrelet s'use au droit des coussinets et que cette usure paraît être en rapport avec le tonnage; en outre, que certains ballasts corrodent le patin des rails.

« Des observations complètes font défaut.

« L'exposé du rapporteur relatif à cette question se terminait par la présentation d'un formulaire qu'il désirait voir dûment remplir par les Administrations adhérentes et transmis à des époques fixes à une Administration chargée de les centraliser et de les coordonner.

« La section a cru devoir soumettre la chose à l'examen d'une commission. »

Ensuite du rapport de cette commission, la section a adopté les conclusions suivantes :

- « La section constate que, comme on ne pourrait actuellement établir que
- « quelques lois très générales, il faudrait, pour pouvoir faire plus, que la question
- « restât à l'étude et fût traitée de nouveau dans la quatrième session du Congrès.
- « Elle conclut à l'adoption du premier formulaire ci-après, qui diffère de celui
- « proposé par le rapporteur par quelques modifications, dont le but est de sim-
- « plifier les renseignements que les Administrations auraient à fournir au sujet
- « des observations faites par elles relativement à l'usure régulière des champi-
- « gnons de roulement. Ces renseignements devraient être accompagnés de croquis
- « donnant le profil du champignon. L'usure devrait être mesurée dans une section
- « à égale distance de deux joints consécutifs, c'est-à-dire au milieu de la longueur,
- « lorsque les joints des deux files sont concordants; au quart de la longueur,
- « lorsque les joints sont croisés.

Formulaire relatif à l'usage

[illegible]

| USURES CONSTATÉES ENTRE MESURAGES. — NOMBRE DE TRAINS ET NOMBRE DE TONNES QUI ONT PASSÉ SUR LES POSTES ENTRE LES MESURAGES. | | | | | | | | | | | | | | OBSERVATIONS. | |
|--|----------|----|---|--------------|----------|--|-------------|----------|--|-------------|----------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Nombre de millions de tonnes qui ont passé sur les rails du poste dans le sens | | | Nombre de trains qui ont passé sur les rails dans le sens | | | Usure constatée en hauteur sur les rails de la file | | | Usure constatée en surface sur les rails de la file | | | Une usure de | | | |
| | | | | | | | | | | | | un millim. en hauteur | un millim. carré de surface | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | correspondant au passage de |
| de la pente. | En tout. | | de la rampe. | de la pente. | En tout. | extérieure. | intérieure. | Moyenne. | extérieure. | intérieure. | Moyenne. | trains. | million de tonnes. | trains. | million de tonnes. |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | | |

« La section constate ensuite que les données recueillies sur l'usure des rails
« ne peuvent servir à déterminer leur durée; l'expérience montre, en effet, que la
« plupart périssent, non par l'usure normale, mais par les usures anormales et les
« détériorations accidentelles. Il y a donc intérêt à connaître quelle est, dans des
« conditions données, la proportion de rails mis hors de service à la suite du
« passage d'un nombre déterminé de trains ou de tonnes et à pouvoir comparer
« les divers résultats obtenus en tenant compte de la qualité du métal et du profil
« des rails. Il convient d'ailleurs de remarquer que l'emploi des sections
« d'épreuves pourrait conduire, pour les recherches de cette nature, à des résultats
« inexacts; il est de beaucoup préférable de recueillir les renseignements
« relatifs aux rails retirés des voies pour une cause quelconque sur l'ensemble de
« chaque réseau.

« Ces renseignements pourraient être fournis sur des tableaux dressés d'après
« le second formulaire suivant :

- Relevé des rails mis hors de service pour une cause quelconque;
- Désignation de la section considérée;
- Déclivité maxima et rayon minimum dans la section;
- Provenance des rails;
- Mode de fabrication;
- Résistance par millimètre carré;
- Allongement (sur 200 millimètres) et contraction de la section de rupture;
- Profil du rail (Vignoles ou double champignon);
- Poids par mètre courant;
- Module d'inertie (I/k) ⁽¹⁾;
- Importance du trafic de 0 à 50,000 tonnes, de 50,000 à 100,000 tonnes,
- puis de 100,000 en 100,000 tonnes;
- Charge maxima des essieux;
- Age moyen des voies;
- Nombre de rails retirés par suite de rupture;
- ————— par suite de fente longitudinale;
- ————— pour toute autre cause.

(1) moment d'inertie;

(2) hauteur de la fibre la plus fatiguée au-dessus de l'axe neutre.

“ *Nota.* — Les renseignements à fournir comprendront la *totalité* des rails mis hors de service sur chaque réseau.

“ La division en sections sera faite par chaque Administration de manière à séparer autant que possible, pour chaque type de rail, les sections comprenant des rails dont la provenance et surtout le mode de fabrication diffèrent et celles qui correspondent aux diverses importances du trafic indiqué. ”

— Les conclusions du rapport qui précède sont mises aux voix et adoptées.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 23 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. le Président. La parole est à M. De Busschere, auteur de l'exposé de la question I, littéra B.

M. De Busschere donne lecture du rapport et des conclusions suivantes, présentées par la 1^{re} section. (Voir ci-dessus le rapport lu par M. Perk dans la séance de la 1^{re} section du 20 septembre.)

M. le Président. Y a-t-il des observations sur les conclusions de la section et sur les formulaires proposés ?

M. de Kislanski (*Russie*). Je ferai observer que, dans le formulaire qui est proposé, il serait utile d'introduire encore un élément dont j'ai eu l'honneur d'entretenir la 1^{re} section.

Indépendamment de l'influence des transports proprement dits sur l'usure des rails, celle-ci dépend aussi de la charge moyenne des essieux des wagons, de la longueur de la base des locomotives, du rapport qui existe entre la base de la locomotive et le rayon de courbure de la voie.

M. De Busschere. J'avais, dans le tableau joint à mon exposé, réservé une colonne pour y faire figurer les renseignements dont parle M. de Kislanski. Nous avons, dans la Commission à laquelle le rapport de la section fait allusion, cherché à réduire les renseignements que les Administrations auraient à fournir, et, dans un but de simplification, nous avons supprimé plusieurs colonnes, notam-

ment celles relatives à l'empatement des locomotives et à la charge moyenne des wagons par essieu.

M. de Kislanski. Le rapport de la longueur de la base des locomotives au rayon de courbure de la voie a fait l'objet d'une étude de la part du président de l'Administration du chemin de fer de l'État, M. le général Pétroff, lorsqu'il s'est agi de remplacer les locomotives à 6 roues par celles à 8 roues sur la ligne du chemin de fer de Saint-Petersbourg à Varsovie. Il a pris pour base les renseignements statistiques du chemin de fer Ferdinand-Nordbahn. Il a tracé une courbe qui donne le moyen, pour chaque rapport de la base des locomotives au rayon de la courbe, de déterminer l'usure des rails en prenant pour unité l'usure en ligne droite.

La seconde influence qui s'exerce sur les rails est celle de la charge moyenne des wagons. Le général Pétroff a établi, pour une période d'une dizaine d'années, la charge moyenne par essieu des wagons sur la ligne de Saint-Petersbourg à Varsovie et celle de Saint-Petersbourg à Moscou; il est arrivé à la conclusion que cette charge était plus grande sur le chemin de fer de Saint-Petersbourg à Moscou et qu'elle donnait lieu à une augmentation de 7 p. c. dans l'usure des rails. J'ai adressé au président de la 1^{re} section une lettre sur ce sujet, et je voudrais qu'elle fût insérée dans le compte rendu. (Voir annexe A.)

M. De Busschere. Les renseignements détaillés sur les charges par essieu des locomotives et leur empatement sont difficiles à faire rentrer dans un formulaire, puisque les Compagnies ont d'ordinaire plusieurs types de moteurs se distinguant à la fois par l'empatement et le poids. Il est donc à craindre qu'on n'arrive à une confusion très grande en voulant trop spécifier en cette matière. Les renseignements particuliers pourront d'ailleurs être inscrits dans la colonne d'observations.

M. de Kislanski. En comparant l'influence des locomotives à 6 roues et celle des locomotives à 8 roues sur l'usure des rails et en prenant en considération le rayon de la courbe, M. Pétroff a trouvé une différence de 6 p. c. Pour les wagons, la charge moyenne, pendant dix ans, sur les deux lignes dont j'ai parlé tout à l'heure, a donné une différence de 7 p. c.

Sir A. Fairbairn. Dans la 1^{re} section, nous avons jugé que nous ne pouvions pas discuter en section cette question de formulaire. C'est pourquoi nous

avons nommé une commission de cinq membres pour arrêter un formulaire; c'est celui qui est maintenant en discussion.

La question a été bien étudiée par la commission spéciale. C'est à l'assemblée de décider si elle veut accepter son travail.

M. de Kislanski. Je ne demande point de modification au travail de la commission; je demande seulement que mes observations soient consignées dans le compte rendu des travaux du Congrès.

M. le Président. Elles y figureront certainement.

S'il n'y a pas d'autre observation, les conclusions seront rédigées de la façon suivante :

“ L'assemblée constate que, comme on ne pourrait actuellement établir que
“ quelques lois très générales, il faudrait, pour pouvoir faire plus, que la question
“ restât à l'étude et fût traitée de nouveau dans la quatrième session du Congrès
“ Elle conclut à l'adoption du premier formulaire, qui est reproduit ci-après
“ et qui diffère de celui proposé par le rapporteur par quelques modifications
“ dont le but est de simplifier les renseignements que les Administrations
“ auraient à fournir au sujet des observations faites par elles relativement à
“ l'usure régulière des champignons de roulement.

“ Les renseignements doivent être accompagnés de croquis donnant le profil
“ du champignon. L'usure doit être mesurée dans une section à égale distance
“ de deux joints consécutifs, c'est-à-dire au milieu de la longueur, lorsque les
“ joints des deux files sont concordants; au quart de la longueur, lorsque les
“ joints sont croisés.

$$\frac{I \cdot B}{131}$$

FORMULAIRE

RELATIF A L'USURE NORMALE DES RAILS D'ACIER

Formulaire relatif à l'usage[illegible]

[illegible]

“ L'assemblée constate ensuite que les données recueillies sur l'usure des rails
 “ ne peuvent servir à déterminer leur durée; l'expérience montre, en effet, que
 “ la plupart périssent, non par l'usure normale, mais par les usures anormales et
 “ les détériorations accidentelles. Il y a donc intérêt à connaître quelle est, dans
 “ des conditions données, la proportion de rails mis hors de service à la suite du
 “ passage d'un nombre déterminé de trains ou de tonnes, et à pouvoir comparer
 “ les divers résultats obtenus, en tenant compte de la qualité du métal et du
 “ profil des rails. Il convient, d'ailleurs, de remarquer que l'emploi des sections
 “ d'épreuves pourrait conduire pour les recherches de cette nature à des résultats
 “ inexacts; il est de beaucoup préférable de recueillir les renseignements relatifs
 “ aux rails retirés des voies pour une cause quelconque sur l'ensemble de chaque
 “ réseau.

“ Dans cet ordre d'idées, l'assemblée adopte le second formulaire suivant :

- “ Relevé des rails mis hors de service pour une cause quelconque;
- “ Désignation de la section considérée;
- “ Déclivité maxima et rayon minimum de la section;
- “ Provenance des rails;
- “ Mode de fabrication;
- “ Résistance par millimètre carré;
- “ Allongement (sur 200 millimètres) et contraction de la section de rupture;
- “ Profil du rail (Vignoles ou double champignon);
- “ Poids par mètre courant;
- “ Module d'inertie (I/h) ⁽¹⁾;
- “ Importance du trafic de 0 à 50,000 tonnes, de 50,000 à 100,000 tonnes;
- “ puis de 100,000 en 100,000 tonnes;
- “ Charge maxima des essieux;
- “ Age moyen des voies;
- “ Nombre des rails retirés par suite de rupture;
- “ — par suite de fentes longitudinales;
- “ — pour toute autre cause.

“ *Nota.* — Les renseignements à fournir comprendront la *totalité* des rails
 “ mis hors de service sur chaque réseau.

(¹) I , moment d'inertie;

h , hauteur de la fibre la plus fatiguée au-dessus de l'axe neutre.

“ La division en sections sera faite par chaque Administration, de manière à
“ séparer autant que possible, pour chaque type de rail, les sections comprenant
“ des rails dont la provenance et surtout le mode de fabrication diffèrent et
“ celles qui correspondent aux diverses importances du trafic indiqué. ”

— Ces conclusions sont adoptées.

Annexe A

LETTRE

SUR LES EXPÉRIENCES DU GÉNÉRAL PÉTROFF RELATIVES A L'INFLUENCE, SUR L'USURE DES RAILS D'ACIER, DU RAPPORT ENTRE LA BASE DES LOCOMOTIVES ET LE RAYON DES COURBES, AINSI QUE DE LA CHARGE MOYENNE PAR ESSIEU DE WAGON

Par M. L. DE KISLANSKI

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES DE RUSSIE
MEMBRE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER VARSOVIE-TERESPOL

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

N'ayant pu assister à la fin de la discussion relative aux différentes causes qui déterminent l'usure des rails, il ne m'a pas été possible d'attirer l'attention de la 1^{re} section sur l'influence des dimensions du matériel roulant, et notamment de la base des locomotives. En effet, l'augmentation de l'usure dans les courbes est due principalement au rapport existant entre le rayon de la courbe et la longueur de la base de la locomotive; plus ce rapport diminue, plus l'usure s'accroît.

Les données statistiques relatives au chemin de fer « Kaiser Ferdinand Nordbahn » qui sont contenues dans le rapport présenté à la 1^{re} section du Congrès en sont une preuve évidente. Lorsqu'il s'est agi, en Russie, de remplacer les locomotives à six roues du chemin de fer de Saint-Petersbourg-Varsovie par des locomotives à huit roues, du type de celles employées sur le chemin de fer de Saint-Petersbourg-Moscou (ligne Nicolas), tous deux exploités par la Grande Société des chemins de fer russes, M. le professeur Pétroff, général du génie, actuellement président de l'Administration des chemins de l'État russe, a fait une étude comparative afin de rechercher quelle serait l'influence de ce changement du type de la locomotive sur l'usure des rails.

Prenant comme point de départ les résultats du chemin de fer « Kaiser Ferdinand Nordbahn », il a établi qu'en admettant l'usure sur une ligne droite comme unité, l'usure dans les courbes de différents rayons serait :

| | |
|------------------------------|------|
| Pour un rayon de 566 mètres. | 1.51 |
| — — 453 — | 1.62 |
| — — 379 — | 1.76 |

Et ainsi de suite :

| | |
|------------------------------|------|
| Pour un rayon de 190 mètres. | 2.53 |
| — — 170 — | 2.71 |
| — — 113 — | 3.56 |

Cette augmentation de l'usure provient, comme il est dit plus haut, du changement dans le rapport entre le rayon de la courbe et la base des locomotives. Il est certain que beaucoup d'autres causes agissent également.

Mais si celles-ci n'existaient pas, il est évident que l'influence défavorable de la longueur de la base de la locomotive serait encore plus apparente.

La longueur de la base des locomotives à marchandises de la « Kaiser Ferdinand Nordbahn » était de 3^m239, et celle des locomotives à voyageurs de 3^m477; la longueur moyenne était, par conséquent, de 3^m388. En divisant les rayons ci-dessus indiqués par ce chiffre, nous trouvons que :

| | |
|--|------|
| Pour le rapport de 168.5, l'usure dans les courbes sera de | 1.51 |
| — — 135, — — — | 1.62 |
| — — 113, — — — | 1.76 |

Et ainsi de suite :

| | |
|---|------|
| Pour le rapport de 57, l'usure dans les courbes sera de | 2.53 |
| — — 56.6, — — — | 2.71 |
| — — 33.6, — — — | 3.56 |

En se basant sur ces chiffres, le général Pétroff a tracé dans son mémoire une courbe qui permet graphiquement d'établir l'influence de la base des locomotives sur l'usure des rails.

En appliquant ces résultats aux lignes de Saint-Petersbourg-Varsovie et de Saint-Petersbourg-Moscou, dont la première a un tracé comportant un quart de courbes de 600 à 6,000 mètres, tandis que la seconde est presque en ligne droite et contient un petit nombre de courbes, toutes d'un très grand rayon (1,500 à 3,000 mètres) et en déterminant l'influence de la substitution de locomotives de 4^m140 de longueur de base à celles de 3^m360, le général Pétroff est arrivé à la conclusion que pour la ligne de Saint-Petersbourg-Varsovie, le changement du type de locomotive entraînerait pour toute la ligne une augmentation d'usure de 6 p. c.

La charge plus ou moins grande des wagons a aussi de l'influence sur l'usure des rails. En effet, un essieu portant une charge double d'un autre use davantage les rails.

Pour un même tonnage brut, mais pour différentes charges d'essieux, l'usure des rails est proportionnelle aux racines carrées des pressions des essieux sur les rails.

Ainsi, ayant pris, pour les deux lignes qui l'intéressaient, la charge moyenne supportée par essieu de wagon dans une période de dix ans, le général Pétroff a établi que cette charge, pour la ligne de Saint-Petersbourg-Varsovie, était de 287 pouds, et pour la ligne de Saint-Petersbourg-Moscou, de 331 pouds, c'est-à-dire que la pression d'un essieu sur la ligne de Saint-Petersbourg-Moscou est plus grande que celle constatée sur la ligne de Saint-Petersbourg-Varsovie. Le

rapport est de $\frac{331}{287} = 1.1533$.

Ce rapport indique que pour le même nombre de kilomètres-voitures, sur la ligne de Saint-Petersbourg-Moscou, les rails s'useront davantage que sur la ligne de Saint-Petersbourg-Varsovie, et cela dans la proportion de $\sqrt{1.1533} : 1 = 1.07$, soit 7 p. c. en plus.

Voilà, monsieur le Président, les quelques mots que j'avais à ajouter sur la question dont il s'agit. J'ai l'honneur de joindre à cette lettre le mémoire original du général Pétroff (en langue russe).

Veuillez agréer, monsieur le Président, l'assurance de ma haute considération

Annexe B

NOTE

SUR LES EXPÉRIENCES DE M. STETZEWICH RELATIVES A L'USURE
DES RAILS, FAITES SUR LA LIGNE DE TAMBOFF-SARATOFF

Par M. N. DE SYTENKO

CONSEILLER DE COUR DE L'EMPIRE DE RUSSIE

PLANCHES V ET VI

Pendant le mouvement d'un train, il se produit entre les surfaces adhérentes du bourrelet supérieur du rail et des bandages des roues un frottement de roulement et un frottement de glissement. Indépendamment de ces deux espèces de frottement, il existe un troisième frottement dû à un mouvement dont le sens est perpendiculaire à l'axe de la voie. Ce dernier est causé par les oscillations horizontales, plus ou moins accentuées, qui proviennent de la construction même des véhicules et de la vitesse de marche. Par suite de ce frottement latéral, le rail oscille dans le plan horizontal de son patin.

C'est à cause de ce mouvement que le champignon de roulement, au fur et à mesure de son usure, laquelle dépend de la nature chimique du métal, prend un profil de plus en plus concave.

Le rail subit aussi, dans son plan vertical, un mouvement d'oscillation provenant de sa flexion dans l'intervalle des traverses par suite de la stabilité des points d'appui et de l'état du ballast.

L'accélération de la vitesse et les défauts de construction de la voie qui donnent lieu à des inégalités dans la résistance de celle-ci, amènent des secousses par suite desquelles le roulement des véhicules produit un martelage continu sur les rails.

En ne tenant compte que de la qualité du métal du rail, c'est-à-dire en supposant que, pour les autres conditions, le rail se trouve dans un état normal, on peut admettre que plus le métal sera doux, plus le frottement de roulement sera grand et plus l'usure du rail sera considérable; par conséquent, les déformations permanentes du métal augmenteront aussi, ce qui accélérera la mise hors de service du rail. Au contraire, plus le métal sera dur, plus il sera riche en carbone, moins il présentera de résistance aux chocs des bandages et moins le rail s'émiettera. Partant de ce principe, on arrive à la conclusion que plus le matériel roulant est léger et plus sa vitesse est grande, plus il est avantageux d'employer pour les rails un métal doux. Par contre, plus le matériel roulant est lourd et moins la vitesse est considérable, plus il convient de faire usage d'un acier dur.

Par conséquent, pour différentes lignes, pour divers types de matériel roulant, pour des profils et des circonstances topographiques dissemblables, on pourra trouver, pour la dureté du métal à employer, des limites qui produiront le maximum de résistance des rails à l'usure.

Outre les causes d'usure des rails énumérées ci-dessus, provenant du mouvement proprement dit des trains, il en existe encore une autre qui produit une usure uniforme du champignon de

roulement : c'est l'oxydation du rail après chaque passage d'un train par un temps humide et chaud. Cette oxydation atteint le métal d'une manière d'autant plus profonde que le mouvement sur la voie est moins fréquent. Mais le maximum de son action se manifeste quand les rails sont mis en dépôt.

D'après les comptes rendus du chemin de fer de Cologne-Minden, les rails conservés en dépôt pendant un laps de sept ans ont perdu, à la suite de leur oxydation, 5 p. c. de leur poids primitif, et une épaisseur de métal égale à 1 6 millimètre, tandis que la couche d'oxyde métallique ainsi formée atteignait le double de la partie détruite. La cause d'une plus grande oxydation constatée généralement dans les rails en acier dur doit être attribuée à cette circonstance que les usines, pour masquer la présence du phosphore et du soufre dans le métal, afin de le rendre propre à un bon laminage, y ajoutent parfois du manganèse dans une proportion beaucoup trop grande, dépassant 0 2 p. c. pour l'acier Martin et 0 35 p. c. pour l'acier Bessemer. L'acier contenant plus de 0 75 p. c. de manganèse n'a plus une consistance régulière et uniforme, à cause des agglomérations locales qui se produisent dans le métal, ce qui amène une oxydation irrégulière de l'acier et rend granuleuse la surface du champignon de roulement.

Cela accélère l'usure des rails, surtout pour ceux qui sont posés dans les tunnels. Les rails en acier Bessemer employés dans les tunnels du North Western Railway ont servi quatorze années, pendant lesquelles s'est effectué un transport de 120 millions de tonnes.

Leur analyse chimique a donné :

| | |
|---------------------|------------|
| Manganèse | 0 35 p. c. |
| Phosphore | 0 03 — |
| Soufre | 0 02 — |
| Silicium | 0 01 — |

Sur le North Eastern Railway, les rails de la même composition chimique que ceux que je viens de mentionner ont servi plus de sept années dans le tunnel de Scheldan, restant constamment dans l'humidité.

En terminant, je dirai quelques mots des études très importantes faites par M. Coflard, ingénieur du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée, sur la stabilité de la voie ferrée. Les recherches auxquelles il s'est livré sont appelées à produire toute une révolution dans l'étude des résistances du tablier ferré aux influences des charges mobiles. M. Coflard ainsi que d'autres spécialistes, tels que MM. Flamache et Huberti, Weber, Barlow, en donnant un diagramme de la flexibilité absolue de la voie, comprenant la flexibilité des rails, l'enfoncement des rails dans les traverses et l'enfoncement des traverses dans le ballast, n'ont pas tenu compte de ce fait que les points de repère constants servant de zéro pour les points mesurés ont suivi les mouvements du sol au passage des locomotives.

Les expériences faites par M. Höntzschel sur les chemins de fer de l'État en Allemagne ont démontré qu'un repère établi à 50 centimètres de l'axe central de la voie subit un déplacement de 50 à 75 millimètres.

Depuis trois ans, on a installé sur la ligne de Tamboff-Saratoff, du chemin de fer de l'État russe, vingt postes d'observation.

D'après les données de M. l'ingénieur Stetzewitch, les rails Vignoles sont de deux types pesant respectivement : 26^{kg}87 et 27^{kg}76 par mètre courant. La longueur du rail est de 6^m10 ; il est soutenu par huit traverses en bois. Les résultats obtenus par le mesurage de l'usure des rails sont reproduits aux tableaux I et II ci-après et à la planche V, qui donnent le maximum d'usure des rails posés sur ces vingt postes, avec l'indication de la provenance, de la situation topographique, de l'année de la pose, etc.

TABLEAU I.

| Numéros des figures. (Voir planche V.) | La section de la voie | Ligne droite (D.) ou courbe (C.). | Montée (M.), descente (D.), ou palier (P.). | Provenance du rail. | Époque de la pose. | Nombre d'années écoulées avant l'ob- servation. | Désignation de la position des rails par rapport à l'amont de la section [côté gauche (C. G.) ou côté droit (C. D.)] | Distance du point mesuré de l'amont du rail. |
|---|-----------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|---|---|--|
| 1 | I | D. | D. $i = 0.0078$ | Russe. | 1883 | 4 | C. G. | 2' |
| 2 | I | D. | P. | — | 1883 | 4 | C. G. | 10' |
| 3 | I | D. | P. | — | 1883 | 4 | C. D. | 2' |
| 4 | I | D. | M. $i = 0.0071$ | — | 1883 | 4 | C. D. | 10' |
| 5 | III | D. | D. $i = 0.008$ | Krupp. | 1881 | 6 | C. G. | 1.5' |
| 6 | IV | D. | P. | Russe. | 1887 | 0 | C. D. | 10' |
| 7 | IV | D. | P. | — | 1887 | 0 | C. D. | 1.5' |
| 8 | IV | D. | D. $i = 0.015$ | Braune. | 1875 | 12 | C. D. | 1.5' |
| 9 | IV | D. | D. $i = 0.015$ | — | 1875 | 12 | C. G. | 1.5' |
| 10 | I | C. $R = 476$ | D. $i = 0.0093$ | Krupp. | 1877 | 10 | C. G. | 1.5' |
| 11 | I | C. $R = 476$ | D. $i = 0.0093$ | — | 1877 | 10 | C. D. | 1.5' |
| 12 | I | C. $R = 476$ | D. $i = 0.0093$ | — | 1877 | 10 | C. G. | 11' |
| 13 | III | C. $R = 1,000$ | D. $i = 0.008$ | Russe. | 1881 | 6 | C. G. | 1.5' |
| 14 | III | C. $R = 1,000$ | D. $i = 0.008$ | — | 1881 | 6 | C. G. | 1.5' |
| 15 | III | C. $R = 1,000$ | D. $i = 0.008$ | — | 1881 | 6 | C. D. | 1.5' |
| 16 | IV | C. $R = 513$ | M. $i = 0.0098$ | — | 1886 | 1 | C. G. | 1.5' |
| 17 | IV | C. $R = 513$ | M. $i = 0.0098$ | — | 1886 | 1 | C. D. | 1.5' |
| 18 | IV | C. $R = 345$ | D. $i = 0.012$ | Braune. | 1875 | 12 | C. G. | 10' |
| 19 | IV | C. $R = 345$ | D. $i = 0.012$ | — | 1875 | 12 | C. D. | 10' |
| 20 | I | D. | D. $i = 0.0078$ | Russe. | 1883 | 4 | C. G. | 9'' |

| Numéros des figures. (Voir planche V.) | La section de la voie | Ligne droite (D.) ou courbe (C.) | Montée (M.), descente (D.), ou palier (P.) | Provenance du rail. | Époque de la pose. | Nombre d'années écoulées avant l'ob- servation. | Désignation de la position des rails par rapport à l'amont de la section [côté gauche (C. G.) ou côté droit (C. D.)] | Distance du point mesuré de l'amont du rail. |
|---|-----------------------|---|---|---------------------------|--------------------------|---|---|--|
| 21 | I | D. | D. $i = 0.0078$ | Russe. | 1883 | 4 | C. G. | 4.3' |
| 22 | III | D. | D. $i = 0.008$ | Krupp. | 1884 | 6 | C. G. | 2.8" |
| 23 | III | D. | D. $i = 0.009$ | Russe. | 1884 | 6 | C. D. | 19'9.2" |
| 24 | III | C. $R = 1,000$ | D. $i = 0.009$ | — | 1881 | 6 | C. D. | 17'7.4" |
| 25 | IV | C. $R = 451$ | D. $i = 0.01$ | — | 1882 | 5 | C. D. | 0.5" |
| 26 | IV | C. $R = 345$ | D. $i = 0.012$ | Braune. | 1875 | 12 | C. G. | 3.5" |

TABLEAU II.

| Numéros des figures, (Voir planche VI.) | La section de la voie | ÉPOQUE du MESURAGE. | DISTANCE EN MILLIMÈTRES DES POINTS INDICUÉS DU PROFIL DÉFORMÉ RELATIVEMENT AUX POINTS CORRESPONDANTS DU PROFIL NORMAL | | | | | | | | | | DIMENSIONS DU RAIL | | Tonnage total des trains passés sur le rail en millions de tonnes. | Nombre des trains par mille. |
|--|-----------------------|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------------|--|---------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | en hauteur. | en largeur. | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | |
| 1 | I | Juill. 1887 | + 0.9 | + 1.2 | + 0.7 | 0 | + 0.1 | - 0.4 | - 0.7 | - 0.6 | - 0.5 | - 1.0 | + 0.1 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.7 | - 1.1 | - 1.1 | - 1.3 | - 1.4 | - 1.3 | 0 | 0 | + 0.1 | 1.3 | 54.93 | 6.32 | 18.72 |
| 2 | I | — 1887 | + 0.3 | + 0.8 | + 0.1 | + 0.5 | + 0.7 | + 0.2 | - 0.9 | - 0.3 | + 0.3 | - 0.3 | 0.7 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | + 0.1 | - 0.4 | + 0.1 | - 1.0 | - 1.2 | - 1.4 | - 0.4 | + 0.6 | + 0.1 | + 0.1 | 1.2 | 48.59 | 6.32 | 18.72 |
| 3 | I | — 1887 | + 0.6 | + 0.4 | - 0.4 | - 1.0 | - 1.0 | - 0.9 | - 1.3 | - 0.1 | + 0.3 | - 0.2 | 1.0 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.4 | - 0.8 | - 0.8 | - 0.8 | - 0.9 | - 0.8 | - 0.5 | 0 | + 0.1 | 0.8 | 47.79 | 6.32 | 18.72 |
| 4 | I | — 1887 | + 0.1 | - 0.2 | - 0.5 | 0 | - 0.1 | - 0.4 | - 0.7 | 0 | + 0.2 | - 0.5 | 0.1 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | + 0.1 | 0 | - 0.2 | - 1.3 | - 1.3 | - 1.3 | - 1.2 | - 0.2 | - 0.1 | 0 | 1.3 | 59.62 | 6.32 | 18.72 |
| 5 | I | — 1887 | + 0.9 | + 0.2 | + 0.8 | - 0.9 | - 0.6 | - 1.1 | - 1.4 | - 0.5 | - 0.4 | - 0.7 | 0.6 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.1 | - 0.4 | - 0.6 | - 0.4 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.3 | 0 | 0 | 0.4 | 22.16 | 6.59 | 24.61 |
| 6 | I | — 1887 | + 0.3 | - 0.4 | - 1.4 | - 1.8 | - 1.4 | - 1.6 | - 1.8 | - 0.1 | - 0.2 | - 0.5 | 1.4 | " | " | " |
| | II | — 1888 | + 0.1 | + 0.1 | - 0.1 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.4 | - 0.7 | + 0.1 | + 0.1 | 0 | 0.3 | 14.61 | 1.09 | 3.29 |
| 7 | I | — 1887 | + 0.1 | + 0.7 | + 0.2 | - 0.4 | - 0.3 | - 0.9 | - 0.9 | - 0.7 | - 0.4 | - 0.7 | 0.3 | " | " | " |
| | II | — 1888 | + 0.2 | + 0.2 | - 0.4 | - 0.6 | - 0.6 | - 0.3 | - 0.1 | + 0.2 | + 0.2 | + 0.1 | 0.6 | 21.98 | 1.09 | 3.29 |
| 8 | I | — 1887 | + 0.3 | - 0.6 | - 1.4 | - 1.5 | - 1.8 | - 2.3 | - 2.3 | - 0.8 | - 0.2 | - 0.2 | 1.8 | " | 10.13 | 41.62 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.1 | - 0.5 | - 0.5 | - 0.4 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.1 | 0 | 0.4 | 20.24 | 11.22 | 44.91 |

| Numéros des figures. (Voir planche VI.) | La section de la voie | ÉPOQUE du MESURAGE. | DISTANCE EN MILLIMÈTRES DES POINTS INDICÉS DU PROFIL DÉFORMÉ RELATIVEMENT AUX POINTS CORRESPONDANTS DU PROFIL NORMAL | | | | | | | | | DIMENSIONS DU RAIL | | Tonnage total des trains passés sur le rail en millions de tonnes. | Nombre des trains par mille. | |
|--|-----------------------|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------------|--|---------------------------------|-------------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | en hauteur. | | | en largeur. |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | I | Juill. 1887 | + 0.7 | + 0.7 | - 0.4 | - 1.5 | - 1.8 | - 2.4 | - 2.9 | - 1.7 | - 0.9 | + 0.2 | + 1.8 | " | 10.13 | 41.62 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.2 | - 0.9 | - 0.8 | - 0.6 | - 0.4 | - 0.4 | - 0.3 | - 0.1 | - 0.1 | 0.6 | 35.58 | 11.22 | 44.91 |
| 10 | I | — 1887 | + 0.7 | + 0.1 | - 1.3 | - 1.7 | - 1.7 | - 2.4 | - 2.6 | - 1.9 | - 0.7 | + 0.9 | 1.7 | 110.4 | 11.56 | 36.73 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | 0 | 0 | - 0.1 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.4 | - 0.2 | 0.1 | 10.51 | 12.96 | 40.41 |
| 11 | I | — 1887 | + 0.6 | + 0.3 | - 0.6 | - 1.5 | - 1.7 | - 2.7 | - 2.1 | - 0.2 | + 0.2 | + 0.1 | 1.7 | 92.7 | 11.56 | 36.73 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.1 | 0 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.1 | - 0.2 | - 0 | + 0.1 | + 0.1 | 0.1 | 6.46 | 12.96 | 40.41 |
| 12 | I | — 1887 | + 0.5 | + 0.3 | + 0.1 | + 0.2 | - 0.1 | - 2.4 | - 3.2 | - 2.9 | - 1.7 | - 0.7 | 0.1 | " | 11.56 | 36.73 |
| | II | — 1888 | 0 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.1 | - 0.5 | - 0.7 | - 0.8 | - 0.6 | - 0.5 | - 0.3 | 0.5 | 28.05 | 12.96 | 40.41 |
| 13 | I | — 1887 | + 0.5 | + 1.3 | + 1.0 | + 0.1 | - 0.2 | - 0.9 | - 1.1 | + 0.7 | + 0.3 | - 0.2 | 0.2 | 14.75 | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | + 0.2 | + 0.2 | + 0.2 | 0 | - 0.1 | - 0.1 | - 0.2 | + 0.1 | 0 | 0 | 2.71 | 6.59 | 24.61 |
| 14 | I | — 1887 | 0 | + 0.5 | + 0.4 | - 0.1 | - 0.2 | - 0.5 | - 0.6 | + 0.5 | + 0.3 | - 0.5 | 0.2 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | + 0.1 | + 0.1 | + 0.1 | - 0.1 | - 0.4 | - 0.4 | - 0.2 | + 0.1 | 0 | 0.1 | 9.00 | 6.59 | 24.61 |
| 15 | I | — 1887 | + 0.2 | + 0.9 | + 0.7 | + 0.3 | + 0.1 | - 0.4 | - 0.1 | + 0.7 | + 0.3 | - 0.3 | 0.1 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | - 0.1 | - 0.1 | - 0.3 | - 0.4 | - 0.5 | - 0.1 | + 0.2 | 0 | 0.3 | 14.51 | 6.59 | 24.61 |
| 16 | I | — 1887 | + 0.7 | + 0.7 | - 0.4 | - 1.2 | - 1.3 | - 1.8 | - 1.9 | - 0.4 | - 0.3 | - 0.6 | 1.3 | " | 0.82 | 2.88 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | + 0.2 | + 0.1 | 0 | - 0.4 | - 0.2 | + 0.2 | + 0.2 | 0 | 0 | 5.21 | 1.91 | 6.17 |
| 17 | I | — 1887 | + 0.3 | + 0.1 | - 0.4 | - 0.8 | - 0.4 | - 0.7 | - 1.0 | - 0.3 | + 0.1 | - 0.3 | 0.4 | " | 0.82 | 2.88 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | - 0.1 | - 0.2 | - 0.4 | - 0.2 | - 0.2 | + 0.1 | 0 | 0 | 0.4 | 12.30 | 1.91 | 6.17 |
| 18 | I | — 1887 | + 0.7 | + 0.3 | - 0.8 | - 0.8 | - 1.2 | - 1.7 | - 1.4 | + 0.1 | + 0.4 | + 0.1 | 1.2 | 63.75 | 10.13 | 41.62 |
| | II | — 1888 | + 0.1 | + 0.1 | + 0.2 | + 0.1 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.3 | + 0.1 | + 0.1 | + 0.1 | 0.2 | 7.21 | 11.22 | 44.91 |
| 19 | I | — 1887 | + 1.1 | + 1.2 | - 0.8 | - 2.0 | - 2.3 | - 3.3 | - 4.7 | - 4.3 | - 3.4 | - 2.2 | 2.3 | 191.50 | 10.13 | 41.62 |
| | II | — 1888 | 0 | + 0.1 | + 0.2 | + 0.2 | 0 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.2 | 0 | 5.14 | 11.22 | 44.91 |
| 20 | I | — 1887 | + 0.5 | + 0.7 | - 0.5 | - 1.1 | - 0.7 | - 1.0 | 0 | + 0.9 | + 0.1 | + 0.5 | 0.7 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | + 0.1 | 0 | - 0.5 | - 0.4 | - 0.4 | - 0.3 | - 0.4 | - 0.1 | - 0.1 | 0 | 0.4 | 20.93 | 6.32 | 18.72 |
| 21 | I | — 1887 | + 1.1 | + 3.1 | - 1.9 | - 2.4 | - 1.9 | - 2.0 | - 1.8 | + 1.4 | + 3.1 | + 0.9 | 1.9 | " | 4.93 | 15.04 |
| | II | — 1888 | 0 | - 1.2 | - 1.1 | - 0.9 | - 0.6 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.1 | + 0.1 | + 0.3 | 0.6 | 50.63 | 6.32 | 18.72 |
| 22 | I | — 1887 | - 0.4 | - 1.2 | - 1.8 | - 1.5 | - 1.3 | - 1.4 | - 1.3 | + 0.1 | + 0.5 | + 0.4 | 1.3 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | 0 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | 0 | 0 | + 0.1 | 0.2 | 8.76 | 6.59 | 24.61 |
| 23 | I | — 1887 | + 0.1 | + 0.4 | 0 | - 0.7 | - 0.8 | - 1.1 | - 1.0 | + 0.2 | + 0.2 | - 0.5 | 0.8 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | + 0.1 | + 0.1 | + 0.2 | 0 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.1 | + 0.1 | + 0.1 | 0 | 4.35 | 6.59 | 24.61 |
| 24 | I | — 1887 | + 0.8 | + 2.4 | - 1.0 | - 1.7 | - 1.6 | - 1.5 | - 1.2 | + 2.5 | + 2.3 | + 1.0 | 1.6 | " | 5.55 | 21.17 |
| | II | — 1888 | 0 | 0 | + 0.1 | 0 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.2 | + 0.2 | 0 | 0.2 | 8.48 | 6.59 | 24.61 |
| 25 | I | — 1887 | + 2.5 | + 2.2 | - 2.6 | - 2.9 | - 1.9 | - 0.8 | - 0.2 | + 2.0 | + 1.8 | + 0.8 | 1.9 | " | 4.36 | 16.11 |
| | II | — 1888 | + 0.4 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.3 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.1 | 0.2 | 18.20 | 5.45 | 19.40 |
| 26 | I | — 1887 | + 1.0 | + 0.8 | - 1.3 | - 2.5 | - 3.0 | - 3.2 | - 3.0 | + 0.1 | + 0.3 | + 0.2 | 3.00 | " | 10.13 | 41.62 |
| | II | — 1888 | 0 | + 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.4 | - 0.3 | 0 | + 0.3 | 0 | 0.2 | 12.47 | 11.22 | 44.91 |

La plus grande usure en hauteur serait de 0.31 à 0.38 millimètre par an. La plus grande usure en superficie serait de $17^{mm}84$ à $22^{mm}23$ par an.

En général, les rails de provenance russe se sont usés, en moyenne, pour un passage de 1,000 trains : en hauteur, de $0^{mm}023$; en superficie, de $1^{mm}84$.

La planche VI est un tableau synoptique montrant les déformations du profil en long des rails en acier dépendant de la qualité du ballastage, d'après les mesurages exécutés par M. Stetzewitch; les résultats obtenus sur le poste n° 18 sont dus aux variations artificielles du balastage.

Paris, le 15 septembre 1889.

QUESTION II, LITTÉRA A

COMPARAISON DES RAILS A COUSSINETS

ET DES

RAILS A LARGE BASE

Quels avantages et quels inconvénients l'emploi des voies avec rails à coussinets et celui des voies avec rails à large base offrent-ils respectivement :

- 1° Pour les lignes à fort trafic, parcourues par de nombreux express;*
- 2° Pour les lignes à mouvement ordinaire?*

QUESTION II, LITTERA A

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|---|-----------|
| Exposé par MM. BEMELMANS et BRUNEEL | II-A — 3 |
| Discussion en section | II-A — 44 |
| — en séance plénière et conclusions | II-A — 64 |

EXPOSÉ

Par MM. BEMELMANS et BRUNEEL

RESPECTIVEMENT INGÉNIEUR EN CHEF ET INGÉNIEUR AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE

AVANT-PROPOS.

Le Congrès international des chemins de fer ne s'est pas encore occupé, dans ses précédentes sessions, du profil qu'il serait le plus avantageux d'adopter pour le rail.

Le programme élaboré par la commission organisatrice du Congrès de Bruxelles en 1885 comprenait bien, il est vrai, une question se rapportant aux : « Types de voies ferrées les mieux appropriés aux diverses lignes suivant leur nature et leur importance », mais l'exposé rédigé par M. Lebon, ingénieur en chef directeur du service des voies et travaux du chemin de fer du Grand Central belge, se borna à constater que le rail Vignoles et le rail à double bourrelet étaient employés concurremment et qu'ils avaient encore, l'un et l'autre, leurs partisans :

« Il semble, ajoutait-il, que la voie à double bourrelet sur traverses en bois, plus massive, plus stable, plus élastique, convienne mieux pour les lignes parcourues par les trains à très grande vitesse; elle est générale en Angleterre, mais n'est plus employée sur le continent que par quelques-unes des grandes Compagnies françaises; la voie Vignoles est plus économique d'établissement et demande moins de sujétions dans l'entretien, ce qui fait qu'elle est généralement préférée.

“ Le reproche qu'on lui a fait pendant longtemps de donner lieu, lors des renouvellements des rails, à une détérioration des traverses et à une interruption relativement longue de la ligne, a perdu beaucoup de son importance depuis la substitution de l'acier au fer dans la fabrication des rails. ”

Préoccupé, sans doute, d'ouvrir un large débouché à l'industrie sidérurgique en recherchant les conditions que doivent remplir les traverses métalliques pour soutenir avec avantage la comparaison avec les voies sur traverses en bois, le Congrès n'aborda pas à Bruxelles la question du profil des rails qui, au point de vue de l'industrie métallurgique, n'a pas grande importance, le poids du rail et de ses accessoires étant sensiblement le même dans chacun des deux systèmes pour un trafic déterminé.

La session de Milan du Congrès avait à examiner, dans sa sixième question, l'influence des conditions d'établissement des voies ferrées sur les dépenses d'entretien tant de la voie elle-même que du matériel roulant.

Comme le faisait remarquer avec raison le rapporteur, M. Siegler, cette question, qui comprenait en somme tout l'art de construire les voies ferrées, était trop générale pour pouvoir être traitée d'une façon complète. Aussi le Congrès se borna-t-il à approuver les conclusions de M. Siegler préconisant “ l'assainissement de la plate-forme, l'emploi d'un ballast de bonne qualité, la constitution “ d'une voie d'autant plus robuste qu'elle était appelée à recevoir des trains plus “ rapides et plus lourds, l'emploi de traverses en bois de bonne qualité avec selles “ métalliques pour le profil Vignoles, l'adoption d'attaches solides munies de “ dispositifs empêchant le desserrage des boulons, mais il ne s'occupa point de “ la question du profil même des rails. ”

Celle-ci est, d'ailleurs, une de celles qui furent le plus controversées naguère et sur lesquelles l'accord ne semble pas encore près de s'établir.

En Europe, l'Autriche, l'Allemagne, la Belgique, l'Espagne, la Hollande, l'Italie, la Russie, la Suisse, la Suède et la Norvège emploient presque exclusivement le rail Vignoles, tandis que l'Angleterre s'en tient invariablement au rail à coussinets.

En France, trois des six grandes Compagnies emploient le rail à patin, les trois autres, le rail à double bourrelet.

Lors de la création, en 1878, du réseau de l'État français, composé de lignes rachetées, posées partie avec voie Vignoles, partie avec voie à coussinets, ce dernier type fut adopté pour l'avenir.

De telles divergences prouvent que la question n'a pas été envisagée partout au même point de vue et qu'il n'a pas été tenu compte dans la même mesure des conditions spéciales que les voies doivent remplir d'après la nature et l'importance de leur trafic.

CHAPITRE I^{er}.

Historique.

Il ne sera pas sans utilité, croyons-nous, de rappeler en quelques mots l'histoire de cette question tant débattue.

Dès l'origine des chemins de fer et après quelques transformations successives des premiers profils, apparaissent le rail à bourrelets inégaux, puis le rail à bourrelets symétriques.

Ce dernier type, généralement adopté sur tous les réseaux européens, y persista pendant de longues années, jusqu'au moment où la question des profils de rails fit, en Allemagne, l'objet de nouvelles recherches et d'études approfondies.

Dès 1851, M. Weishaupt, puis, après lui, MM. Malberg et von Weber, procédèrent à de longues et minutieuses expériences pour déterminer la valeur relative des deux profils au point de vue de leur résistance aux efforts tant verticaux que latéraux.

Ces expériences permirent de constater que le rail Vignoles présente, comme résistance, une supériorité incontestable sur le rail à double champignon dissymétrique de même poids, qu'il est même au moins l'équivalent du rail à double champignon symétrique, mais elles ne fournirent guère d'argument capital en faveur de l'adoption du rail Vignoles de préférence au rail à double bourrelet.

Mais les partisans du rail à patin firent valoir, en faveur de celui-ci, diverses considérations dont nous résumons les principales :

1° D'abord, la suppression du coussinet amène tout à la fois une simplification dans la pose et une réduction assez notable dans les frais de premier établissement, réduction que l'on estimait alors à 7,000 ou 8,000 francs par kilomètre;

2° L'enlèvement du rail doit être rendu suffisamment long et laborieux pour écarter la malveillance.

A ce point de vue, la voie à coussinets offre un certain inconvénient, puisqu'il

suffit d'enlever quelques boulons et quelques coins parfois peu serrés dans leurs logements;

3° Le rail à patin est, sans contredit, plus difficile à courber que l'autre. Si c'est un défaut, c'est aussi et surtout une qualité, puisque la raideur transversale du rail le rend plus propre à résister aux pressions horizontales des boudins;

4° Les coussinets sont fragiles : un simple déraillement partiel suffit souvent pour les briser par centaines; ils peuvent, par cela même, déterminer des ruptures d'attelage et transformer en un accident grave un fait qui, sans eux, serait inoffensif;

5° Enfin — considération capitale et qui semble avoir fait abandonner le rail à coussinets par un grand nombre d'Administrations — l'emploi du coin doit donner lieu, à de lourdes sujétions, dans l'entretien et la surveillance de la voie.

Dans les pays soumis à des variations sensibles et brusques de l'état hygrométrique de l'air, les coins en bois subissent, disaient les partisans de la voie Vignoles, l'influence de la sécheresse ou de l'humidité de l'atmosphère. Serrés à fond lorsqu'ils sont gonflés d'eau, ils se relâchent par la sécheresse. Le serrage disparaît, et avec lui la stabilité et la fixité de la voie.

Au point de vue de la conservation de la voie elle-même, ajoutaient-ils, ce relâchement des coins doit produire de fâcheux effets. Il en résulte nécessairement, au passage des véhicules, des trépidations et des chocs qui martèlent violemment les joues et la base des coussinets. De là, des pénétrations des coussinets dans le bourrelet inférieur du rail et souvent le bris des bases de coussinets, de là encore désorganisation des fibres du bois de la traverse et pénétration du coussinet dans celle-ci.

Les partisans de la voie à coussinets faisaient bien valoir, il est vrai, que l'interposition d'un corps élastique latéralement au rail devait amortir les chocs et rendre le roulement plus doux. Mais il semblait que cette interposition n'était nullement nécessaire et qu'il ne devait pas y avoir choc latéral, puisque, prétendait-on, dans les voies où les coins étaient placés à l'intérieur de la voie, il ne paraissait pas y avoir plus de bris de joues de coussinets que dans celles où les coins étaient placés à l'extérieur.

Le coussinet et le coin étaient donc, estimait-on, des intermédiaires coûteux, inutiles et même dangereux.

En sens inverse, les partisans de la voie à coussinets signalaient :

1° Que dans la voie Vignoles, la pression latérale des roues n'est contrebalancée

que par la résistance d'une seule attache et que cette considération acquiert un grand poids pour les voies en courbe.

L'emploi de plaques sous le rail, rendant solidaires les deux attaches, supprime, il est vrai, cet inconvénient, mais seulement au prix d'une augmentation de dépense de premier établissement ;

2° Que le remplacement d'un rail à coussinets est beaucoup plus facile et plus rapide et qu'il ne provoque aucune détérioration des supports ;

3° Que le rail à patin impose l'emploi de traverses en bois dur et que, même dans ce cas, il y a pénétration du rail dans la traverse ;

4° Que la voie Vignoles exige, pour l'appui, des entailles inclinées que, dans la pratique, l'on obtient difficilement avec une exactitude rigoureuse, de sorte que l'assiette du rail est défectueuse et que l'écartement de la voie en est modifié ;

5° Que les billes des voies à coussinets étant plus profondément enfouies dans le ballast, la stabilité de la voie en est augmentée et que les traverses, mieux soustraites aux variations atmosphériques, en acquièrent une durée plus grande ;

6° Que les rails à double champignon sont d'une fabrication plus facile, plus régulière et que le dressage en est meilleur ;

7° Que la voie à coussinets résiste mieux à la tendance au renversement du rail, le coussinet tendant plutôt à glisser horizontalement qu'à tourner autour de l'arête extérieure de sa base ;

8° Qu'à raison de cette tendance au renversement, la pression du rail Vignoles sur la traverse augmente dans de notables proportions vers l'arête extérieure, où elle finit par écraser, ou tout au moins user le bois d'une façon marquée, produisant ainsi le déversement du rail et l'élargissement de la voie ;

9° Que le rail à double champignon, symétrique, permet le retournement sens dessus dessous, retournement qui, judicieusement pratiqué, augmente sensiblement la durée du rail en fer ;

10° Enfin, que le rail à large base, même bien éclissé, ne peut résister par son mode d'attache aux efforts d'entraînement longitudinal. Il est indispensable de pratiquer dans le patin du rail des encoches qui le déforcent et d'établir sur les traverses de joint des plaques qui, fixant invariablement la position des attaches, assurent leur pénétration dans les encoches. De là encore, introduction d'un élément nouveau qui augmente le coût de la voie Vignoles et atténue un des avantages les plus sérieux de celle-ci.

En résumé, chacun des deux systèmes de voies avait ses partisans convaincus qui faisaient valoir des considérations de réelle valeur.

Quoi qu'il en soit, l'opinion qui prédomina à cette époque dans la plupart des pays est celle résumée par M. Couche dans son traité de la *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer* :

« On ne peut, en somme, contester au rail Vignoles une économie considérable d'établissement et d'entretien proprement dit; une résistance à la rupture au moins égale, ou plus grande à coup sûr, suivant qu'on prend pour terme de comparaison le rail symétrique ou le rail à champignons inégaux; une sécurité plus complète, et une stabilité pour la rotation équivalente en pratique à celle du rail à coussinets. Il n'y a qu'un point sur lequel on ne puisse se prononcer encore avec certitude : la durée du service.

« Le champignon du rail américain devant naturellement être identique à ceux du rail symétrique de même poids, on peut soutenir, non sans quelque apparence de raison, que le second fera un service plus prolongé que le premier, puisque celui-ci devra être remplacé quand il suffira de retourner l'autre. En admettant cet avantage, il ne saurait entrer en balance, même sous le rapport purement économique, avec ceux que possède le rail Vignoles. Il est bien moindre en effet qu'il ne semble au premier abord; car le champignon inférieur du rail symétrique se dégrade aussi, au droit des coussinets, par la cause qui vient d'être analysée (martelage); sans compter que la destruction du champignon supérieur est nécessairement, par cela même, plus rapide que pour l'autre type. »

Aussi voyons-nous bientôt le profil Vignoles adopté par toute l'Europe, à l'exception de l'Angleterre.

En France, ainsi que nous l'avons déjà rappelé, chacun des deux systèmes de voie est adopté par trois des grandes Compagnies.

En 1878, lors de la création du réseau de l'État français, ce fut, avons-nous dit, le rail à coussinet qui fut adopté pour l'avenir.

La discussion fut d'ailleurs reprise en France à cette époque. Le conseil général des ponts et chaussées avait émis l'avis « qu'il conviendrait de soumettre à un examen approfondi la question générale encore controversée de la préférence à donner au rail à patin ou au rail à double champignon, en chargeant une commission spéciale de recueillir et de comparer les résultats, aujourd'hui nombreux, de l'expérience qui a été faite de l'un et de l'autre type sur les différents réseaux, et, s'il y a lieu, d'arrêter le type à adopter définitivement sur les chemins de l'État ».

M. le ministre des travaux publics chargea une commission ⁽¹⁾ de procéder à cette enquête et de présenter un rapport sur les résultats de celle-ci.

Ce rapport, rédigé par M. Vicaire, expose d'une façon remarquable les recherches faites et les résultats acquis.

Nous n'entrerons pas dans l'examen approfondi de ce travail, et nous nous bornerons à en reproduire le résumé final :

« Sous le rapport des frais d'établissement, la voie à patin présente une économie incontestable par le fait de la suppression des coussinets, économie que ne fait pas disparaître, lorsqu'on y a recours, l'emploi des selles en métal sous le patin. La forme plus rationnelle du profil permet également une certaine économie dans le poids du rail, toutes choses égales d'ailleurs, par comparaison avec le rail à double champignon symétrique; mais ce dernier avantage pourrait disparaître si, abandonnant le retournement, tout en conservant le coussinet comme moyen d'attache, on donnait au bourrelet inférieur la forme la plus rationnelle au point de vue de la résistance.

« L'emploi du coussinet, surtout s'il est à large base, présente d'ailleurs un notable avantage, lorsqu'on est conduit à faire usage de traverses en bois tendre.

« Le rail Vignoles semble établir une certaine économie dans la main-d'œuvre d'entretien; mais le rail à coussinets présente un avantage important sur les lignes à grande fréquentation par le temps moins long qu'exige le remplacement d'un rail.

« Au point de vue de la dépense de renouvellement, l'emploi du coussinet conduit peut-être, lorsque le coussinet est à large semelle et qu'on profite de la faculté de surélever la surface du ballast, à une certaine économie de traverses, la durée de celles-ci étant augmentée, sans toutefois qu'il soit possible d'évaluer en chiffres cet avantage.

« Mais l'introduction aujourd'hui générale de l'acier semble réduire à très peu de chose l'avantage du retournement et indiquer d'une manière très nette, même lorsqu'on emploie des coussinets comme supports, l'emploi d'un profil non symétrique.

En ce qui concerne la sécurité et la douceur du roulement, la voie Vignoles présente l'avantage d'une rigidité un peu plus grande à poids égal de rail, et

(1) Cette commission était composée de MM. Brame, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer de l'Ouest, président; Rousselle, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer d'Orléans; Jacquemin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est; Mayer, ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest; Vicaire, ingénieur des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'École des mines, rapporteur.

celui d'éviter l'emploi du coin en bois, qui impose, pour la voie à double chamignon, une surveillance plus assidue. Par contre, celle-ci résiste mieux au ripage latéral, par suite du recouvrement plus complet des traverses, et surtout elle conserve mieux sa largeur dans les courbes; toutefois, on peut obtenir, avec la voie à patins, un résultat analogue, sous ce dernier rapport, par l'augmentation du nombre et du diamètre des tire-fond et par l'emploi de selles en métal.

« Ces considérations en sens contraire ne permettent pas de formuler une conclusion absolue en faveur de l'un ou de l'autre des deux types de voie. Elles font d'ailleurs que les conditions de détail adoptées dans l'établissement de chacun d'eux et leur plus ou moins bon entretien influent plus sur les résultats obtenus dans le service que les particularités essentielles à chaque type. »

Faut-il ajouter encore qu'en Amérique, d'où nous vient le rail à patin, celui-ci a été adopté d'une façon générale et y jouit encore d'une faveur exclusive?

Toutefois, dans ces dernières années, la question du profil rationnel du rail a fait, aux États-Unis, l'objet de discussions approfondies. Non seulement le profil Vignoles a été réétudié dans ses moindres détails, mais d'après les renseignements que nous fournit la *Railroad Gazette*, la Compagnie du Pennsylvania Railroad a même décidé, en 1887, l'essai, sur deux milles de longueur, de la voie à coussinets du type du London and North-Western Railway.

Il nous a paru intéressant de rappeler avec quelques détails les précédents de la question, afin de nous rendre un compte exact des raisons principales qui ont provoqué autrefois l'abandon presque général du rail à coussinets.

Nous pourrions ainsi rechercher si les conditions actuelles de la métallurgie et de l'exploitation des chemins de fer sont telles, qu'elles confirment encore l'opinion émise naguère.

CHAPITRE II.

État actuel de la question.

Dans cette étude des conditions actuelles de l'établissement des voies ferrées, nous rechercherons successivement l'influence :

- 1° De la forme du rail;
- 2° De l'appui du rail sur ses supports;
- 3° Des moyens d'attache du rail;
- 4° Des billes et du ballast.

1^o Forme du rail.

Une des différences essentielles entre les voies d'autrefois et celles d'aujourd'hui résulte de l'adoption de l'acier pour la fabrication des rails.

Les rails en fer étaient généralement mis hors de service, non pas pour usure des bourrelets, mais pour l'exfoliation qui se produisait au champignon de roulement par suite d'un défaut de soudure des diverses mises du paquet de laminage.

Il s'ensuit donc que dans les expériences de M. Weishaupt, on a envisagé exclusivement, pour les rails en fer mis à l'essai, le profil du rail neuf.

Les rails en acier, au contraire, sont homogènes, s'usent d'une façon régulière et ne sont mis hors de service que lorsque le bourrelet supérieur a subi l'usure limite qui peut atteindre une valeur relativement élevée.

Si donc le rail en fer doit être étudié au point de vue de sa résistance lorsqu'il est neuf, celui en acier doit être calculé de telle façon qu'il résiste encore aux conditions du trafic lorsqu'il a atteint sa limite d'usure.

Le profil d'un rail en acier neuf doit donc être considéré comme composé de deux parties essentiellement distinctes.

Une première, située tout entière à la partie supérieure du bourrelet de roulement et qui est destinée à disparaître par l'usure. Elle n'est donc pas indispensable à la résistance élastique du rail et dépend uniquement de la densité du trafic et de la durée assignée au rail.

Une seconde, le profil du rail usé à son maximum, qui doit pouvoir, à elle seule, équilibrer les efforts qui agissent sur le rail. Elle doit être la plus réduite possible, car elle subsiste seule lorsque le rail est mis au rebut et ne vaut plus alors que comme vieux matériaux. Elle est d'ailleurs absolument indépendante de la densité du trafic et de la durée du rail, et dépend uniquement du poids des véhicules et de la vitesse des trains.

Ce sont donc les sections de rails réduites à leur minimum par l'usure qu'il faut étudier au point de vue de la résistance élastique et qu'il faut comparer entre elles.

Quel que soit le mode de calcul adopté, on pourra rechercher, pour des conditions déterminées de charge et de vitesse des trains, quel est au point de vue de la résistance le profil rationnel de chaque type de rail. On arrivera ainsi à des sections sensiblement égales en surface, et pour chacune desquelles la quantité de matière sera approximativement la même dans le bourrelet supérieur et dans la partie inférieure du profil.

Mais une section ainsi calculée ne pourrait, dans la pratique, être adoptée pour le rail Vignoles.

Afin d'assurer, dans certaines limites, la stabilité de celui-ci sur ses supports, il est, en effet, indispensable de conserver un rapport déterminé entre la hauteur du rail neuf et la largeur de sa base. On est amené ainsi à donner à celle-ci une dimension plus grande que celle qui résulte du calcul de la résistance du profil, et cet élargissement oblige, pour la facilité du laminage et pour la résistance même du patin, à augmenter en même temps l'épaisseur de celui-ci.

Il faut ainsi transformer le profil rationnel du rail usé en un autre de section sensiblement plus grande, quoique n'offrant pas une résistance notablement plus élevée.

Ce fait devient évident si l'on examine quelques profils de rails Vignoles usés à leur maximum. Nous ne possédons pas de renseignements précis au sujet des limites d'usure adoptées par les diverses Administrations, mais nous avons supposé pour le rail Paris-Lyon-Méditerranée une usure maxima de 12 millimètres en nous inspirant des règles adoptées par l'État belge pour un rail analogue.

Les sections figurant au tableau ci-après ont été relevées au planimètre et ne représentent donc que des approximations, suffisantes, il est vrai, pour l'objet envisagé.

| TYPE DU RAIL VIGNOLES. | Poids du rail neuf. | Section totale en millimètres carrés. | Hauteur maxima d'usure. | Section du patin. | Section du bourrelet supérieur du rail neuf. | Section du bourrelet supérieur du rail usé. |
|---------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|-------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Paris-Lyon-Méditerranée | Kilogrammes. 38.8 | 5,010 | 12 | 2,090 | 2,190 | 1,500 |
| État belge | 38.0 | 4,900 | 12 | 2,020 | 2,280 | 1,640 |
| — | 52.0 | 6,600 | 20 | 2,310 | 3,220 | 1,900 |

En rapprochant les chiffres des colonnes 5 et 7, l'on constate que, dans le rail Vignoles usé, le patin a une section notablement supérieure à celle du bourrelet et que cette différence est respectivement, pour ces trois profils, de 39.3, 23.2 et 21.6 p. c. de la section du champignon de roulement. Or, d'après la nature du métal et des efforts qui agissent sur le rail, ces sections devraient, au point de

vue de la meilleure répartition de la matière, être très sensiblement symétriques.

Pour les profils usuels de rails à champignons dissymétriques, l'inverse, le bourrelet supérieur du rail usé conservant une section quelque peu supérieure à celle du bourrelet inférieur. Cette différence n'atteint toutefois que 13 p. c. en moyenne et pourrait même, semble-t-il, être réduite, sans inconvénient, à zéro.

En effet, dans le rail à coussinets, la largeur de la base du coussinet étant généralement double de la hauteur du rail au-dessus du plan d'assiette, une augmentation, même notable, de la hauteur du bourrelet supérieur ne change pas d'une façon sensible le rapport de la hauteur à la base. Une augmentation de la section destinée à parer à l'usure n'entraîne donc aucune modification du profil symétrique primitivement calculé, ni même, dans les limites de la pratique, des supports.

Nous en concluons qu'on peut obtenir, pour des conditions déterminées de fatigue, un profil de rail *bull-headed* de section moindre que celle du rail à patin, tout en réservant pour l'usure des sections au moins équivalentes.

Cette question du profil du rail peut encore être envisagée à un autre point de vue qui, dans les conditions actuelles de la métallurgie, acquiert une grande importance.

La fabrication des rails Vignoles, notamment de ceux à fort profil, exige des conditions toutes spéciales. Quelle que soit la vitesse des laminoirs, le patin aminci prend, par le refroidissement pendant le laminage, une sorte de trempe qui modifie la nature de l'acier.

Pour mieux faire ressortir la valeur de cette considération, nous reproduisons ci-dessous l'avis de quelques ingénieurs qui ont fait de la nature de l'acier pour rails l'objet d'une étude toute spéciale.

Dans un article paru en 1881 dans les *Annales des Mines*, M. Grüner, inspecteur général des mines de France, ancien professeur de métallurgie à l'École des mines, dit :

« L'acier fondu pour rails doit-il être dur ou doux, et la nature de l'acier est-elle, ou non, sans influence sur le profil du rail ? »

« Une commission, nommée par M. le ministre des travaux publics, fut récemment chargée de comparer, au point de vue de la durée et des frais, les deux types de rails usités en France par nos grandes Compagnies de chemins de fer. Doit-on préférer le rail à patin, dit « américain », ou le rail à double champignon ? »

Cette question peut avoir son importance, et cependant il en est une autre qui me semble devoir la primer, c'est celle de la *nature* du métal. La nature de l'acier influe, en effet, sur la durée des rails plus que la forme. Celle-ci n'est pourtant pas indifférente, quoique les conclusions de la commission, dont je viens de parler, laissent la question à peu près indécise dans son rapport du 12 avril 1881. Au point de vue des frais et de la durée, les deux types se vaudraient sensiblement. Il est vrai que la commission s'est bornée à comparer les deux types d'une façon *générale*, sans s'inquiéter des dimensions relatives des diverses parties d'un rail, qui cependant semblent devoir exercer, comme la nature du métal, une certaine influence sur la durée des rails. C'est cette double question que je voudrais essayer de traiter en ce moment, moins, au reste, dans l'espoir de la résoudre définitivement, que pour attirer sur elle l'attention des ingénieurs chargés de l'établissement des voies ferrées, et celle des ingénieurs qui dirigent les forges. Je m'occuperai d'abord de la plus importante des deux, de la *nature* du métal. »

Et plus loin :

« L'acier se comporte autrement au laminoir que le fer doux. Celui-ci n'est pas exposé à durcir lorsqu'on le lamine un peu froid, tandis que l'acier se trempe au contact même des cannelures, et durcit alors d'autant plus que la barre est plus mince. D'après cela, il est bien évident que les bords du patin sont plus exposés à durcir que la tête.

« Les profils des rails Vignoles furent étudiés primitivement en vue du fer doux. On a pensé avec raison qu'à poids égal, il valait mieux renforcer la tête que le pied, de sorte que l'on a aminci les bords du patin jusqu'à 6 et 5 millimètres.

« Cette faible épaisseur offrait déjà une certaine difficulté lors du laminage des rails en fer soudé. Le bord refroidi se *criquait* facilement, mais le métal du moins n'était pas trempé. Il en est autrement pour l'acier. Lorsque les cannelures sont bien établies et que le métal est bon, il n'y a pas de criques, mais les bords du patin se trempent. Le métal est alors dans une tension moléculaire fort inégale, qui nuit à sa solidité; il se rapproche des larmes bataviques; un faible choc, et, en tout cas, la moindre entaille ou blessure du bord du patin suffit, le plus souvent, pour qu'un coup de marteau, et même la simple chute du rail, entraîne sa rupture immédiate. On reconnaît alors, par la couleur et la finesse du grain, que le métal est réellement trempé le long des bords minces du patin. Il faut donc, ou rendre l'acier moins dur, ou renforcer les bords du patin. Il suit de

là, qu'un acier convenable pour les rails à double champignon peut être trop dur pour les rails à patin.

« Au reste, par la nature même des choses, les difficultés croissent dès que l'acier est dur. Dans ce cas, en effet, le métal devient cassant à une température élevée; sa malléabilité diminue à mesure que sa dureté augmente; il faut donc chauffer le lingot pour le laminage à une température moindre, tandis que, d'autre part, il faut un plus grand nombre de passages pour arriver à la cannelure finale, ce qui est une nouvelle cause de refroidissement. Bref, lorsque l'acier est dur, le travail est plus long, à moins que les cylindres ne marchent plus vite; aussi, presque toujours, le métal arrive refroidi à la dernière cannelure et s'y trempe alors si la barre est mince. Ce défaut se manifeste d'une manière frappante dans les forges où, comme à Beucaire, on fabrique tour à tour des rails Vignoles et des rails à double champignon. Quoique l'acier des rails à patin de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée soit moins dur que celui des rails à double champignon de la Compagnie du Midi, le nombre des barres rompues lors de la pose par la simple manutention et renvoyées à l'usine par ce motif, est huit à dix fois plus considérable pour les rails à patin que pour les rails à double champignon. Les premiers exigent donc, je le répète, un acier moins dur et un patin moins aminci sur les bords. »

M. Cazes, ingénieur du matériel de la voie des chemins de fer du Midi de la France, dans une note adressée à l'*Iron and Steel Institute* de Londres, s'exprime comme suit :

« La forme du profil du rail Vignoles détermine très facilement, comme on le sait, la trempe des bords du patin et l'existence, dans les diverses parties de la section, de tensions moléculaires irrégulières, qui nuisent à la solidité du rail.

« De là l'impossibilité d'employer, à la fabrication des rails Vignoles, des aciers aussi durs que ceux qui peuvent être employés sans difficulté à la fabrication des rails à double champignon et l'obligation de chauffer à une plus haute température moyenne ou, tout au moins, de réchauffer au cours du laminage, les lingots qui doivent être transformés en rails Vignoles.

« La résistance élastique des aciers croissant avec leur dureté, les rails à double champignon peuvent être fabriqués avec un métal d'une résistance notablement supérieure à celle du métal le plus dur qui puisse être employé à la fabrication du rail Vignoles et offrir, par conséquent, dans la pratique, un moment de résistance supérieure, malgré l'infériorité théorique apparente due à leur profil. »

Enfin, dans une note dont il donnait lecture à l'*Engineer Institute* de Londres dans le courant de 1885, M. Sandberg, chargé par de grandes Compagnies américaines de la réception des rails fabriqués en Europe, soutenait que :

« L'influence de la forme du profil sur la dureté du métal et sur la sécurité dans la pratique est un point très important. Un rail à double bourrelet, comme celui qu'on emploie sur les lignes anglaises, peut être obtenu à un état de dureté plus grand qu'un rail à patin large et mince et à grand bourrelet, type généralement adopté, à l'heure actuelle, dans les chemins de fer américains. Les rails de ce dernier type, en sortant du laminoir au rouge, se courbent par le refroidissement et prennent au milieu une flèche qui atteint de 12 à 15 pouces. Que l'on songe à l'effort énorme qui est nécessaire pour accomplir cette flexion. Le patin, plus mince, se refroidit tellement vite que le bourrelet est encore rouge alors que le reste est déjà noir; la courbure provenant de ce refroidissement inégal doit être corrigée par un dressage à froid à la presse et un martelage, d'où création de points faibles aux endroits du patin où l'on a donné des coups de marteau. Aussi la nécessité de courber à chaud paraît évidente. Il y a beaucoup de causes inévitables qui produisent des irrégularités dans la résistance, telles que le mélange inégal du spiegel, formation d'alvéoles pendant le moulage, chauffe non uniforme lors du laminage et d'autres circonstances encore qui font qu'il est absolument nécessaire d'avoir un grand excédent de résistance, puisque celle-ci n'est pas uniforme pour tous les rails.

« C'est pourquoi il convient encore de faire des essais au choc, comme ceux que nous avons rapportés plus haut, sur une plus petite échelle, dans le but d'avoir des rails un peu plus durs qu'auparavant, tout en donnant la sécurité voulue contre la rupture.

« Mais, comme nous l'avons montré, cette fabrication de rails durs rencontre une grande difficulté dans la forme des rails à patin qui, sous ce rapport, sont inférieurs aux rails à double bourrelet; c'est pourquoi il serait dangereux de se baser, au point de vue de la sécurité, sur l'expérience acquise par l'emploi de ces derniers et d'en tirer des conclusions pour les rails à patin, et cela d'autant plus que le patin est plus large et plus mince.

« C'est un point très important d'élargir le patin proportionnellement à l'accroissement du poids des rails, comme en Amérique. Si on appliquait cette règle à un rail Goliath, de la même manière qu'on agit maintenant en Amérique, en augmen-

tant la largeur du patin jusque près de 15 centimètres, dans un rail de 35 ou 40 kilogrammes, sans donner au bord du patin l'épaisseur nécessaire de 9 millimètres, on arriverait inmanquablement à avoir de sérieux risques au point de vue de la sécurité. Chaque centimètre de plus en largeur et chaque millimètre de moins dans l'épaisseur augmentent beaucoup les difficultés du laminage et affectent bien plus encore la résistance du rail aux chocs et au martelage dû au passage des trains.

« Ici donc se présente un problème d'une grande importance pratique. Comment est-il possible d'obtenir une base suffisante pour donner aux traverses en bois tendre une durée plus grande, sans arriver à une section difficile à laminier et sans risquer de diminuer la résistance du rail ?

« Acceptons la section du rail anglais à double bourrelet et large base du coussinet en fonte mesurant 25 à 30 centimètres comme le type parfait, d'autant plus qu'il permet d'adopter un rail dur, sans danger de rupture, et fournit un bon système pour fixer le rail sur la traverse avec une surface d'appui double de ce qu'elle pourra jamais être avec un rail à patin. Il est bon aussi de considérer le seul côté par où pèche ce système de voie, c'est-à-dire la question de prix. »

Ajoutons encore que l'expérience a démontré que la largeur du patin du rail de l'État prussien, largeur qui n'atteignait cependant que 110 millimètres, rendait son laminage difficile; des criques se produisaient souvent sur les bords du patin. Aussi dès 1880 fut-on amené à réduire cette largeur à 105 millimètres.

Le rail Vignoles exige donc l'emploi d'aciers plus doux que le rail à coussinets, et le métal doit l'être d'autant plus que le rail est plus lourd et le patin plus large.

Or, la résistance du métal à la rupture augmente en même temps que sa dureté et peut varier de 50 à 55 kilogrammes par millimètre carré (rails Vignoles allemands et autrichiens), jusqu'à 85 kilogrammes en moyenne (rails à double bourrelet de la Compagnie des chemins de fer du midi de la France).

A section égale, les rails à coussinets peuvent donc offrir une résistance bien supérieure à celle des rails Vignoles, et cette augmentation de résistance peut atteindre 20 à 25 p. c., sans inconvénient aucun au point de vue des chances de bris par les chocs.

La dureté des rails augmente d'ailleurs aussi leur résistance à l'usure. Sans rechercher quel est, à ce point de vue, l'acier le plus convenable pour la fabrica-

tion des rails, nous croyons pouvoir constater que les ingénieurs sont aujourd'hui presque unanimes à reconnaître que les aciers relativement durs et de bonne fabrication présentent de très grands avantages au point de vue de la résistance à l'usure, qui peut varier du simple au triple.

C'est là une considération de très haute importance, aujourd'hui que la charge par essieu et la densité du trafic augmentent chaque jour et que les rails sont, par conséquent, de plus en plus exposés à l'usure.

En recherchant l'influence de la nature des aciers, nous nous sommes placé exclusivement au point de vue de la résistance du rail tant à l'usure qu'à la flexion, sans nous préoccuper de l'usure des bandages. Nous ne sachions pas, en effet, que l'on ait élucidé la question de la dureté relative que doivent avoir les aciers des rails et des bandages pour réduire à un minimum la dépense due à l'usure de ces éléments.

La solution de cette question n'est pas d'une importance capitale pour la fabrication des rails à coussinets, qui peut se faire indifféremment au moyen d'aciers doux ou d'aciers relativement durs.

Mais il n'en est pas de même pour le rail Vignoles.

Nous ne nous arrêterons pas non plus à la question du retournement du rail à bourrelets symétriques, cette opération ayant perdu toute utilité depuis l'adoption de l'acier.

Nous ne citerons aussi que pour mémoire l'objection formulée autrefois contre le rail à coussinets d'avoir une hauteur d'écissage moindre que le rail Vignoles.

Ces hauteurs d'écissage sont aujourd'hui absolument comparables. L'emploi d'écisses se prolongeant sous le bourrelet inférieur permet d'ailleurs d'augmenter dans une large mesure la résistance et la raideur de l'assemblage.

Nous ajouterons cependant que les écisses de la voie à double bourrelet sont moins longues que celles de la voie Vignoles, et que cette objection semble avoir une certaine importance au point de vue de la raideur du joint.

2° Supports du rail.

Au point de vue de la conservation du rail lui-même, les deux profils peuvent être considérés comme étant placés dans des conditions analogues.

Par des dispositifs rationnellement conçus, on peut donner au rail des surfaces d'appui équivalentes, qu'il repose sur un coussinet ou sur une selle en fer, comme le rail à patin.

Dès lors, les pressions par unité de surface sont égales et, si les rails sont fixés dans les mêmes conditions d'invariabilité sur leurs supports, l'usure de la partie inférieure du profil sera la même.

La différence entre les deux types ne s'accuse que dans la stabilité du rail sur la traverse.

On a fait remarquer, tout d'abord, qu'au point de vue du travail de premier établissement, la pose du rail suivant le dévers réglementaire est facilitée par l'emploi de coussinets reposant sur la bille par des surfaces horizontales de grande largeur. L'inclinaison du rail est obtenue par l'obliquité des joues, et la pose est d'une rigoureuse exactitude. Elle l'est d'autant plus que la base du coussinet est plus large et qu'une légère erreur, fût-elle même commise, n'aurait ainsi qu'une influence très faible sur l'inclinaison du rail.

Dans le rail Vignoles, au contraire, l'inclinaison est donnée, en général, par l'assiette du rail sur la bille. Le travail d'entaillage exige ainsi une précision d'autant plus grande que l'entaille n'a souvent qu'une largeur égale ou peu supérieure à celle du patin et que toute erreur se reproduit, d'une façon sensible, dans l'inclinaison du rail lui-même.

Cette objection perdrait évidemment de sa valeur si l'emploi de plaques profilées analogues à celles mises en œuvre par la Compagnie des chemins de fer de l'État néerlandais venait à se généraliser. L'inclinaison du rail y est obtenue par la selle même, qui repose sur la traverse par une face horizontale.

Mais, si l'inclinaison vient à se modifier ultérieurement, le redressement comporte un travail difficile à exécuter avec toute l'exactitude désirable. Le bois des traverses, imprégné des parties dures du ballast, ne se prête que difficilement au travail des ouvriers, d'ailleurs généralement assez inhabiles au maniement de l'herminette.

Ce resabotage, qui exige au surplus l'enlèvement des crampons et souvent le forage de trous nouveaux, déforce les billes et réduit la durée de leur service.

Comment un rail, posé dans les conditions réglementaires, se comporte-t-il sous l'influence des forces extérieures, dont les principales sont :

- 1° Le poids des véhicules;
- 2° Les efforts transversaux résultant de la conicité des bandages, de l'inclinaison du rail, de la force centrifuge et du mouvement de lacet des véhicules, qui tendent à faire pivoter le rail autour de l'arête extérieure ou intérieure de son

support, suivant la prédominance de l'une ou l'autre catégorie de ces forces;

3° L'effort longitudinal qui tend à l'entraînement des rails?

Notons tout d'abord que, dans la détermination des efforts réels que subit la voie, la vitesse acquiert une importance prépondérante. Les effets de la force centrifuge, ceux dus aux mouvements anormaux des véhicules, les charges verticales elles-mêmes, croissent rapidement au fur et à mesure que la vitesse des trains augmente,

La recherche théorique des efforts dus aux véhicules en mouvement ne pourrait donner de résultats suffisamment précis et l'observation directe a seule permis, dans ces derniers temps, de se rendre un compte quelque peu exact de leur nature et de leur importance.

A. — EFFORTS VERTICAUX. — Les seuls qu'il soit intéressant d'étudier sont les efforts transmis aux rails par les essieux de locomotives qui sont les plus lourdement chargés.

Ils ne se mesurent pas par la charge que supporte l'essieu en repos. Celle-ci subit pendant la marche des variations importantes, qui augmentent ou diminuent dans de larges proportions les pressions verticales transmises aux rails.

Dans un article paru dans le numéro de mai 1885 de la *Revue générale des chemins de fer*, M. Jules Michel, ingénieur en chef au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, rappelle les essais faits antérieurement et signale de nouvelles observations au sujet de la variation de charge des essieux des machines.

« Le tableau suivant résume, aussi exactement que possible, les conclusions que l'on peut tirer de ces expériences.

| OBSERVATEURS. | Variations moyennes de la charge p' | | Variations extrêmes de la charge p' | | OBSERVATIONS. |
|-----------------|--|----------------|--|----------------|---|
| | Surcharge. + | Décharge. — | Surcharge. + | Décharge. — | |
| | P. C. | P. C. | P. C. | P. C. | |
| MM. Henry . . . | 36 | 27.5 | 50 | 53 | A défaut de renseignements précis, on a supposé que le poids propre de la roue p est le 1/5 du poids p' qui la charge. Autrement dit $P = p' + 0.20 p'$, $P = 1.20 p'$. |
| de Weber . . . | 50 | 41 | 96 | 72 | |
| Brière . . . | 29 | 29 | 76 | 77 | |
| Moyennes . . . | 38.3 | 32 | 75 | 65 | |

« On voit par ce tableau que la surcharge dépasse en général la décharge; que, dans leurs variations extrêmes, la surcharge peut être presque égale à la charge (expérience de Weber, 96 p. c.), mais que la décharge atteint seulement 77 p. c. de p' (expérience Brière). Comme c'est habituellement la valeur $2P$ qui est donnée dans la description des locomotives et non la valeur p' , c'est à P qu'il convient de rapporter les résultats du tableau précédent.

« Or, en prenant les chiffres les plus élevés de M. de Weber et de M. Brière et en remplaçant p' par $\frac{1.20}{P}$, on voit que la charge P de la roue sur la voie peut augmenter de 85 p. c. ou diminuer de 66 p. c. Telles sont les limites fixées par les observations faites jusqu'ici. Toutefois, comme il convient en pareille matière de se tenir au-dessus des chiffres relevés dans les expériences, nous admettrons, pour calculer les conditions de résistance des voies, que la charge P d'une roue peut être accidentellement doublée et qu'elle peut aussi, dans des circonstances exceptionnelles, être réduite au quart de la charge normale.

« Les variations extrêmes ne s'appliquent, bien entendu, qu'à la charge *d'une roue* et non à celle de l'essieu ou de plusieurs roues à la fois, car le poids qui se porte sur une des roues d'une locomotive ne peut augmenter qu'aux dépens de la charge des autres.

« Si la machine oscille de droite à gauche, les roues d'un même côté ne portent vraisemblablement jamais le poids entier du corps de la machine. Ceci, du reste, n'a d'intérêt qu'au point de vue de la répartition de la charge sur le ballast et par l'intermédiaire du ballast sur la plate-forme des terrassements. »

La charge d'une roue de machine peut donc, en cours de route, être portée du simple au double.

Mais elle ne représente pas encore l'effort maximum auquel les rails peuvent être soumis. Celui-ci s'accroît encore par les chocs qui se produisent, soit par les mouvements anormaux des véhicules, soit par les irrégularités ou les discontinuités de la voie, soit encore par les parties planes qui existent dans les bandages.

Les efforts dus aux chocs provenant des discontinuités de la voie résultant, par exemple, d'une défectuosité de l'écissage, ont été étudiés par M. Considère, ingénieur en chef des ponts et chaussées de France, dans une série d'expériences intéressantes.

Dans celles du pont de Puy-l'Évêque, M. Considère a constaté que pour un train marchant à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure, sur une voie dont les

boulons n'avaient pas été resserrés depuis quelque temps déjà, la roue exerçait, en sus de son poids statique, un effort dynamique de 13,300 kilogrammes.

Dans une seconde série d'expériences, faites au passage d'un train, à la vitesse de 64 kilomètres, sur un joint dont les boulons d'éclisses avaient été préalablement desserrés, un essieu chargé de 13,100 kilogrammes produisait un effort total de 35,900 kilogrammes, soit les $\frac{27}{10}$ de la charge statique.

Le même essieu circulant sur une voie *établie dans les conditions normales d'exploitation* exerçait un effort de 24,700 kilogrammes, soit près du double de la charge statique.

Les expériences faites par M. Flamache sur la flexibilité de la voie ont montré que l'effet dynamique produit sur le rail par les plats existants dans les bandages des véhicules à freins, atteint parfois et dépasse même le double de celui produit par les essieux les plus lourdement chargés de la machine.

On peut donc admettre que souvent l'effort exercé sur le rail atteint et dépasse même le double de la charge statique de la roue.

B. — EFFORTS TRANSVERSAUX. — La circulation des trains détermine sur les files de rails notamment, dans les courbes, des efforts transversaux dus notamment :

- 1° A la difficulté d'inscription des essieux dans les courbes;
- 2° A la force centrifuge qui n'est jamais exactement contrebalancée par le surhaussement du rail extérieur, surhaussement déterminé pour une valeur donnée de la vitesse;
- 3° A la poussée vers l'extérieur de la courbe résultant de ce que les buttoirs intérieurs des véhicules sont seuls en contact et donnent une résultante de poussée normale à la courbe;
- 4° Au mouvement de lacet de la machine;
- 5° Au glissement qui se produit par la circulation des bandages sur des files de rails de développements différents.

Aucune expérience directe n'a été faite, que nous sachions, pour déterminer avec quelque exactitude la valeur de ces actions horizontales. Nous devons donc les déduire de résultats acquis pour d'autres points.

Dans une étude sur le renversement du rail Vignoles sur le réseau du chemin de fer de Paris à Orléans, M. Brière, ingénieur en chef des ponts et chaussées,

attaché à la Compagnie d'Orléans, détermine la *limite inférieure* des réactions horizontales qu'exerce sur le rail le premier essieu d'une locomotive. Il déduit cette limite inférieure de l'effort nécessaire pour déplacer l'essieu d'avant muni de plans inclinés qui facilitent son inscription dans les courbes. Il arrive ainsi à cette conclusion que, sans que l'on puisse dire avec précision jusqu'à quel chiffre s'élève la réaction horizontale du rail sur le boudin de la roue, il résulte des constatations faites que dès que les plans inclinés fonctionnent, cet effort atteint et dépasse 1,400 kilogrammes en nombre rond.

Dans un mémoire, lu à la Société des ingénieurs civils de l'Angleterre, M. Mackensie a recherché la valeur que peut, dans certains cas, atteindre cette pression latérale, en étudiant les conditions dans lesquelles se produisent les déraillements d'essieu d'avant des locomotives.

En adoptant pour le coefficient de frottement du bandage sur le rail le chiffre de 0.37, M. Mackensie est arrivé à conclure que pour que l'un des déraillements étudiés ait pu se produire, il a fallu qu'une roue chargée de 4,050 kilogrammes exerçât un effort transversal de 5,700 kilogrammes.

Si le coefficient de frottement était supposé de 0.18 seulement, la pression latérale eût dû être de 8,600 kilogrammes.

Le coefficient de 0.37 paraît absolument excessif, tandis que celui de 0.18 est peut-être trop faible. La conclusion à tirer des calculs de M. Mackensie est, pensons-nous, que la pression latérale peut dans certains cas atteindre le chiffre de 7,500 à 8,000 kilogrammes.

De telles réactions, déjà considérables, ne représentent vraisemblablement pas encore le maximum des efforts horizontaux que la machine peut exercer sur la voie. Le mouvement de lacet des locomotives suffit parfois pour déplacer la voie tout entière, même dans les parties droites. Mais ce fait se remarque souvent à l'entrée des courbes de rayon relativement faible, où l'on constate une tendance marquée des files de rails à se redresser au passage des trains.

Cette déformation n'est due évidemment qu'à des efforts latéraux considérables qui parviennent à vaincre le frottement de la voie sur le ballast et la résistance latérale de celui-ci.

Nous ne possédons pas de données exactes sur la valeur du coefficient de frottement des billes sur le ballast, mais il est bien évident que par la pénétration du ballast dans le bois, ce coefficient atteint un taux très élevé et qu'il faut des efforts énormes pour vaincre cette résistance.

C. — EQUILIBRE DU RAIL. — Se basant sur le résultat de ses expériences, M. Brière a étudié les conditions d'équilibre du rail Vignoles de la Compagnie d'Orléans, sous l'influence des forces verticales et horizontales. Il en déduit que pour la stabilité de ce rail dans les courbes la résistance du crampon à l'arrachement doit entrer en jeu quelquefois, mais rarement. Or, cette résistance est des plus problématiques.

Mais, ajoute-t-il, il n'est pas besoin que la réaction horizontale du boudin prenne des proportions aussi excessives pour que le rail se renverse peu à peu sous l'action du passage des trains : la manière irrégulière dont se répartissent les pressions sur la surface de contact du patin et de la traverse suffit amplement pour déterminer ce résultat. Ces pressions croissent en effet depuis le rebord intérieur du patin jusqu'à l'arête opposée, et le tableau dressé par M. Brière donne la valeur de cette pression par centimètre carré, suivant l'intensité de la réaction horizontale du boudin.

Les calculs sont établis en supposant un rail Vignoles de 6 mètres reposant sur sept traverses et supportant les quatre roues d'une machine au repos qui lui transmettent une charge verticale totale de 22,000 kilogrammes, soit en nombre rond de 3,000 kilogrammes par traverse.

| Valeur de la réaction totale des boudins. | Fraction (1/7) de cette réaction pour une traverse. | Grandeur de la résultante P. | Ordonnée du point d'application par rapport au centre de la base d'appui. | Valeur de la pression par centimètre carré à l'arête extérieure du patin. | Observations. |
|---|---|------------------------------|---|---|-----------------------|
| 0 | 0 | 3,000 | 0.016 | Kilogrammes. 0 | |
| 3,150 | 450 | 3,050 | 0 | 15.25 | Pression moyenne. |
| 6,300 | 900 | 3,140 | 0.017 | 31.40 | |
| 9,100 | 1,300 | 3,280 | 0.035 | 49.20 | |
| 12,250 | 1,750 | 3,460 | 0.05 | 69.20 | Renversement du rail. |

Le bois sous l'influence de ces pressions anormales s'use et s'écrase sous le patin, et le rail se renverse peu à peu vers l'extérieur.

Dès que cet effet se produit, les pressions par centimètre carré augmentent rapidement.

M. Brière les a calculées pour un rail déversé de 2 centimètres vers l'extérieur, comme il en a trouvé dans la voie.

| Valeur de la réaction totale des boudins. | Fraction (1/7) de cette réaction pour une traverse. | Grandeur de la résultante P. | Ordonnée du point d'application par rapport au centre de la base d'appui. | Valeur de la pression par centimètre carré à l'arête extérieure du patin. | Observations. |
|---|---|------------------------------|---|---|-----------------------|
| 0 | 0 | 3,000 | 0.003 | Kilogrammes. 12.3 | Pression moyenne. |
| 700 | 100 | 3,000 | 0 | 15.0 | |
| 3,500 | 500 | 3,050 | 0.017 | 30.50 | |
| 6,020 | 860 | 3,120 | 0.035 | 46.80 | |
| 8,680 | 1,240 | 3,260 | 0.05 | 64.20 | Renversement du rail. |

Il résulte de ce dernier tableau qu'il suffit que la machine exerce un effort total de 8,680 kilogrammes pour que le rail se renverse.

Or, nous l'avons vu plus haut, de tels efforts ne paraissent nullement impossibles.

Il ne sera pas inutile, pensons-nous, de rechercher les pressions qui pourraient être atteintes, dans des conditions défavorables, au passage des lourdes machines adoptées dans ces dernières années et dont la charge par essieu atteint et dépasse même 15 tonnes.

La charge par roue est donc de 7,500 kilogrammes et peut s'élever en cours de route jusqu'à 15,000 kilogrammes en produisant sur le rail des réactions bien plus considérables encore si l'on tient compte des effets dynamiques.

En ligne droite, la machine est animée d'un mouvement de lacet qui a pour effet de faire glisser la roue sur le rail, transversalement à la voie. Cette roue étant, au moment où nous l'envisageons, supposée chargée d'un poids de 15,000 kilogrammes, exerce donc sur le rail un frottement de 3,000 kilogrammes qui, selon le cas, rejette la résultante vers l'extérieur de la voie ou la ramène vers l'intérieur de celle-ci.

Dans cette dernière hypothèse, le calcul indique que :

1° Pour le rail de 43 kilogrammes adopté par la Compagnie des chemins de

fer du Nord français, et reposant directement sur la bille, la pression à l'arête intérieure du patin atteint 206 kilogrammes par centimètre carré;

2° Pour un rail du modèle de l'État belge, pesant 38 kilogrammes et reposant sur des plaques de 200×100 millimètres, la pression se réduit à 150 kilogrammes;

3° Pour un rail du modèle nouveau de l'État belge, pesant 52 kilogrammes et reposant sur des plaques de 240×130 , la pression à l'arête extérieure tombe à 61 kilogrammes;

4° Pour le rail à coussinets de la Compagnie du London and North-Western Railway, cette pression n'est plus que de 26 kilogrammes.

Dans les *voies en courbe*, la résultante des actions horizontales tend à rejeter le rail vers l'extérieur de la courbe, et peut, avons-nous vu, atteindre et même dépasser le chiffre de 7,500 à 8,000 kilogrammes.

Si nous supposons à la fois une pression verticale de 15,000 kilogrammes et une réaction horizontale de 7,500 kilogrammes, la pression par centimètre carré transmise à la bille est :

1° Pour le rail de la Compagnie du Nord, posé sans plaques, de 2,000 kilogrammes sous l'arête extérieure du patin, la pression moyenne étant de 1,000 kilogrammes;

2° Pour le rail de l'État belge, pesant 38 kilogrammes, posé sur plaques de 200×100 millimètres, de 262 kilogrammes;

3° Pour le rail de l'État belge de 52 kilogrammes, de 160 kilogrammes;

4° Pour le rail à coussinets du London and North-Western Railway, de 48 kilogrammes.

Ces pressions seraient dues, il est vrai, à des efforts horizontaux et verticaux se rapprochant de leurs valeurs maxima et se produisant simultanément, ce qui, vraisemblablement, ne se réalise guère dans la pratique. Elles sont d'ailleurs atténuées encore par la raideur du rail qui en transmet une partie aux supports voisins.

Mais ces résultats montrent cependant que pour les rails Vignoles, posés sur plaques de dimensions usuelles, et surtout pour ceux reposant directement sur les billes, les charges peuvent devenir absolument excessives, et dépassent en tout cas celles que peuvent supporter sans détérioration sensible les bois même durs.

Cette considération explique pourquoi, sur les lignes à grand trafic et parcourues à grande vitesse, les billes même en chêne, posées sous des rails ainsi

établis, sont mises hors de service, non pas à cause de leur détérioration par les agents atmosphériques, mais pour leur usure au droit du rail. Elles sont littéralement coupées par la pénétration du rail, et finissent par n'avoir plus, sous le patin, qu'une épaisseur de bois absolument insuffisante. Le reste de la traverse est resté parfaitement sain.

Ce fait se constate avec une intensité exceptionnelle sous les rails posés directement sur la bille.

Ces calculs montrent aussi que si la pression à l'intérieur des voies Vignoles *en ligne droite* peut devenir excessive au point de provoquer l'écrasement des fibres de bois, elle diminue rapidement vers le bord extérieur du rail, où elle peut même devenir nulle. Il en résulte une usure inégale du bois qui a pour effet de déverser le rail Vignoles vers l'intérieur de la voie en réduisant la largeur de celle-ci.

Dans les *voies en courbe*, au contraire, les pressions les plus élevées se produisent vers l'extérieur du patin et doivent provoquer un déversement vers l'extérieur et par conséquent un élargissement de la voie.

Ces déductions théoriques sont pleinement confirmées par les constatations directes. Nous rappellerons notamment les observations faites par M. Brière et dont les résultats sont consignés dans l'étude que nous avons rappelée, et la série d'observations si intéressantes faites avec une précision mathématique par M. Coüard, ingénieur à la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

Celles-ci ont notamment établi que :

1° Par suite du déversement du rail Vignoles, la voie se rétrécit en alignement droit, s'élargit en courbe;

2° Le premier essieu du train est celui qui produit les plus forts écartements dans les courbes, surtout sur la file extérieure;

3° Dans les courbes de 1,000 mètres, la file du petit rayon se déverse à l'extérieur de la voie plus que l'autre, même aux plus fortes vitesses.

En alignement droit, c'est également la file de l'accotement qui se déverse le plus à l'intérieur de la voie;

4° Dans les courbes, la selle diminue le déversement du rail extérieur dans un rapport variant de 60 à 90 p. c., et dans une proportion moindre celui de la file du petit rayon.

Dans les voies à coussinets, au contraire, les pressions restent partout circonscrites dans des limites très étroites, et l'usure du bois, si elle se produit, existe

d'une façon sensiblement uniforme sur toute la surface d'appui. Ces voies doivent donc conserver très sensiblement leur écartement normal.

Les chiffres cités démontrent encore l'influence considérable des plaques dans la réduction des pressions supportées par les billes. Ils établissent que la diminution des pressions maxima sous les arêtes des supports est même bien plus rapide que l'augmentation de la largeur des selles. Celles-ci constituent donc un moyen efficace et relativement économique de ramener les pressions aux taux des efforts limites que les bois peuvent supporter sans altération sensible.

Le chiffre de 160 kilogrammes trouvé pour les pressions au bord extérieur des plaques du rail Vignoles de 52 kilogrammes paraît acceptable, si l'on tient compte de cette considération essentielle que de tels efforts ne se produisent pas couramment. Aussi est-il permis d'espérer que les phénomènes de renversement, indéniables pour les voies à patin employées jusqu'ici, ne se constateront plus dans la voie nouvelle.

Mais l'adoption de plaques de plus en plus larges ne saurait ajouter à la stabilité propre du rail sur sa base.

Nous avons rappelé déjà les expériences et les calculs de M. Brière établissant que l'équilibre du rail Vignoles exige parfois que la résistance des attaches à l'arrachement soit mise en jeu.

Soit une roue d'avant de locomotive produisant sur le rail, au milieu de son bourrelet, une action verticale de 3,000 kilogrammes. Pour que le rail exerce une traction sur ses attaches intérieures, il suffit que la poussée horizontale, supposée appliquée à 8 millimètres en dessous de la surface de roulement, dépasse :

1° 1,670 kilogrammes pour le rail de 43 kilogrammes de la Compagnie du Nord;

2° 1,505 kilogrammes pour le rail de 38 kilogrammes de l'État belge;

3° 1,673 kilogrammes pour le rail de 52 kilogrammes de l'État belge;

4° 3,434 kilogrammes pour le rail à coussinets du London and North-Western Railway.

Les poussées horizontales calculées pour les rails Vignoles ne sont nullement excessives et semblent même devoir se réaliser souvent dans la pratique.

Mais en fait elles ne produiront guère de traction sur les attaches du rail. Celui-ci, maintenu par les charges verticales dues aux roues voisines, subira un mouvement de torsion qui équilibrera une partie des efforts horizontaux et réduira d'autant la traction exercée sur les attaches intérieures.

Il faut donc, en étudiant la stabilité propre du rail, envisager non pas une section isolée, mais, comme l'a fait M. Brière, un rail pris dans son entier.

Une machine à voyageurs du type n° 1 de l'État belge et pesant 35,500 kilogrammes en ordre de marche, tient facilement sur la longueur d'un rail. La charge verticale sur celui-ci est de 17,750 kilogrammes.

La résistance à la traction des attaches du rail est donc mise en jeu dès que l'action horizontale de la machine dépasse :

- 1° 9,925 kilogrammes pour le rail de 43 kilogrammes de la Compagnie du Nord;
- 2° 8,950 kilogrammes pour le rail de 38 kilogrammes de l'État belge;
- 3° 9,930 kilogrammes pour le rail de 52 kilogrammes de l'État belge;
- 4° 20,316 kilogrammes pour le rail à coussinets du London and North-Western Railway.

Des réactions horizontales de 9,925, 8,950 et 9,930 kilogrammes peuvent-elles se produire dans la pratique? On peut le craindre, si l'on remarque que dans les courbes, et surtout à leur origine, la roue d'avant exerce une poussée énergique en même temps que la roue d'arrière vient également heurter le rail extérieur de la courbe.

Le rail Vignoles se renversera-t-il sous cet effort? Non, dans la presque totalité des cas, à cause de l'instantanéité du choc, dont les effets sont immédiatement annihilés par la charge verticale qui continue à peser sur le rail. Mais celui-ci subira des trépidations violentes qui produiront nécessairement un effort de traction sur ses attaches.

C'est cette préoccupation de supprimer la traction sur les attaches qui a guidé M. Hohenegger dans la conception de la plaque d'appui pour rails à patin avec attaches distantes de 0^m25, dont il a donné une description dans la deuxième session du Congrès (premier volume, p. VI-19).

« Le patin n'est plus cloué à la traverse, il est écroué à la plaque; de telle sorte que le rail et la plaque ne forment plus qu'un tout et que le rail ne peut plus se dégager sans entraîner la plaque avec lui. De cette façon, nos crampons du milieu résistent trois fois plus qu'autrefois. »

3° Attaches.

Les moyens d'attache sont, pour le rail à patin, les crampons ou tire-fond,

pour le rail à double bourrelet, le coin et les chevilles de fixation des coussinets.

L'objection formulée naguère contre le rail à patin au sujet de l'indépendance des attaches qui n'offraient pas une résistance suffisante aux efforts latéraux tombe aujourd'hui par l'emploi, au moins dans les voies à grand trafic, de plaques ou selles qui rendent solidaires les deux attaches.

Mais, ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent, la tendance au renversement du rail peut, dans la voie Vignoles, s'accroître au point que le patin exerce sur l'attache intérieure un effort d'arrachement.

Or, quelle que soit la forme de cette attache, crampon ou tire-fond, elle ne peut longtemps résister à de tels efforts; le trou s'élargit ou les fibres du bois s'écrasent entre les filets du tire-fond.

Nous ferons remarquer à ce propos que les attaches *usuelles* des rails Vignoles se trouvent placées dans des conditions particulièrement défavorables pour résister à des efforts parallèles à leur axe. Ceux-ci s'exerçant excentriquement produisent une poussée vers l'extérieur qui tend à augmenter la largeur du logement de l'attache et à desserrer celle-ci.

Au contraire, dans les voies à coussinets, la tête de la cheville repose, sur tout son pourtour, sur la base du coussinet, et la traction, si elle venait à se produire, s'exercerait suivant l'axe même de la cheville.

On peut toutefois arriver à ce même résultat pour les voies Vignoles par des dispositifs spéciaux analogues à ceux adoptés par l'État belge pour le type nouveau de rail de 52 kilogrammes.

Dans cette étude des attaches surgit une des objections principales formulées contre les voies à coussinets.

« Comment compter, dit M. Couche, sur l'efficacité d'un moyen de serrage qui subit non seulement toutes les actions mécaniques auxquelles la voie est soumise, mais aussi l'influence de variations atmosphériques incessantes, et qui exigerait en permanence, pour ainsi dire, la main de l'homme pour combattre ces causes perturbatrices? Que le soleil darde, que l'air humide se dessèche, et le coin, en supposant qu'il fût serré avant ce changement, ne l'est plus après. »

L'objection serait capitale, en effet, si les craintes exprimées par M. Couche se confirmaient dans la pratique journalière.

Mais il résulte des renseignements précis fournis par les diverses Administrations tant françaises qu'anglaises, qui font usage de la voie à coussinets, que les

inconvenients signalés par M. Couche, s'ils se produisent, n'offrent cependant pas un caractère assez sérieux pour justifier des mesures de précaution spéciales.

Sur ces réseaux, l'un des agents de la brigade de piocheurs visite toute l'étendue du poste le matin à son arrivée et le soir après la journée de travail. Grâce à cette seule mesure de précaution, aucun inconvenient ne semble plus être redouté.

Quelle part d'influence faut-il attribuer dans la fixité de l'attache à la nature du climat, généralement humide en Angleterre et dans la région traversée par les lignes de l'État français?

Il serait difficile de le dire.

Sur les lignes du chemin de fer du Midi et de Paris à Orléans, les conditions météorologiques des régions traversées sont des plus variées : plaines brûlantes du Midi, pays brumeux de la Bretagne, marais de la Sologne, climats très secs, très humides, froids, chauds, altitudes variant depuis le niveau de la mer jusqu'aux cols de l'Auvergne et du Cantal à la cote 1,200 mètres. Les variations dans l'état hygrométrique de l'air et dans la température qui atteignent jusqu'à 25° centigrades en une journée dans le Cantal, influent évidemment, disent les Compagnies du Midi et d'Orléans, sur le volume des coins, mais ces variations n'ont jamais, ajoutent-elles, présenté d'inconvenients sérieux dans la pratique.

Du reste, quelques dispositifs spéciaux ont été adoptés pour éviter le desserrage éventuel.

En général, sur les lignes à double voie, les coins sont chassés dans le sens de la marche des trains, de sorte que la tendance à l'entraînement longitudinal des files de rails ne fait qu'augmenter le serrage des attaches.

Parfois, sur le London and North Western Railway notamment, les joues latérales des coussinets sont munies de rainures dans lesquelles le bois, comprimé par l'enfoncement, doit se détendre en formant des bourrelets qui empêchent le desserrage.

Ailleurs encore, on a fait usage de coins métalliques qui, d'après les renseignements fournis par l'Administration des chemins de fer de l'État français, donnent d'excellents résultats et auxquels on n'a plus à toucher une fois qu'ils ont été mis en place.

D'après cette Administration, ces coins métalliques augmenteraient même, dans une proportion très marquée, la rigidité de la voie.

La Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans, qui a fait également

l'essai des coins métalliques, ajoute que le bas prix des coins en bois ne rend pas ces expériences très pressantes. Et comme, d'autre part, la pratique indique qu'il n'y a pas à se préoccuper du danger du desserrage, elle n'attache à ces essais qu'un intérêt restreint.

Les craintes qu'a inspirées l'usage du coin paraissent donc, sinon absolument illusoires, du moins très exagérées.

Néanmoins, le coin reste toujours le point faible de ce type de voie, ainsi que le faisait remarquer M. Vicairé.

Notons toutefois que, le coin se trouvant au-dessus du niveau du ballast, la surveillance en est des plus faciles. Dans la voie Vignoles, au contraire, les attaches affleurant le niveau supérieur de la traverse disparaissent généralement sous le ballast et exigent plus d'attention pour être visitées.

Il semble donc difficile d'établir lequel des deux systèmes exige les frais de surveillance les plus élevés.

Dans l'enquête faite en France en 1881, il a été fourni à ce sujet des renseignements contradictoires dont nous croyons pouvoir conclure qu'il n'existe pas de différence marquante entre les deux types de voie.

Le mode d'attache par coin présente d'ailleurs un avantage qui, sur les lignes à trafic exceptionnellement intense, acquiert une sérieuse importance : la facilité du remplacement d'un rail défectueux. L'enlèvement d'un rail à patin exige, outre le desserrage des boulons d'éclisses, l'arrachement des crampons ou l'enlèvement des tire-fond. Cette opération est de nature à détériorer la traverse et nécessite la plupart du temps le forage de trous nouveaux, d'où déforçement de la bille et mise hors d'usage plus prochaine.

Pour le rail à coussinets, au contraire, l'attache sur la bille reste intacte et il suffit de faire sauter les coins et d'enlever les boulons d'éclisses pour dégager le rail.

Cette opération n'exige guère que la moitié du temps nécessaire pour l'opération analogue dans le cas de voies Vignoles.

Sur les voies parcourues par de nombreux trains, l'avantage du prompt remplacement des rails défectueux est considérable et semble, pour ainsi dire, imposer l'emploi du rail à coussinets sur les lignes où, comme au Métropolitain de Londres, la circulation est presque incessante.

L'attache par coin, d'après les renseignements fournis par les Compagnies anglaises, semble encore empêcher d'une façon presque absolue l'entraînement longitudinal des rails. Enfoncés dans le sens de la marche des trains, les

coins se resserrent davantage et chaque bille concourt ainsi à entraver l'entraînement⁽¹⁾. Dans les voies Vignoles, cet entraînement, à moins de dispositions spéciales, presque toujours défectueuses, n'est empêché que par une ou deux billes aux abords du joint.

En Angleterre, le cheminement des voies à coussinets est presque inconnu. Il ne se produit que très exceptionnellement, notamment sur les très fortes déclivités, où l'on constate que la voie tout entière, billes et rails, est entraînée dans la direction de la pente. Ce fait démontre la solidarité absolue entre la bille et le rail que donne ce mode d'attache par coin.

Cette constatation montre combien étaient exagérées les craintes émises par M. Couche au sujet des conséquences des chocs qui devaient résulter d'un serrage insuffisant. Cette série de chocs au passage des essieux devait, d'après lui, produire le maculage des traverses, celui des rails aux portées et la fréquence de la rupture des semelles de coussinets.

En fait, ces effets ne se remarquent plus dans les voies récentes, et les réponses obtenues de diverses Compagnies ne laissent aucun doute à ce sujet. Si, contrairement à ce qui a été constaté à l'origine, ces inconvénients ont disparu aujourd'hui, il faut vraisemblablement l'attribuer à la forme mieux étudiée et plus rationnelle des joues des coussinets, à une fabrication plus soignée, à un calibrage plus rigoureux, et enfin à une surveillance plus régulière des attaches.

Ajoutons encore qu'aux bifurcations et liaisons de voies, les rails à large base sont généralement posés verticalement et qu'en ces points, particulièrement dangereux, le rail se trouve ainsi placé dans des conditions défectueuses au point de vue de sa résistance au déversement vers l'extérieur.

Dans les appareils spéciaux et liaisons établis en rails à coussinets, il est facile, au contraire, de conserver au rail son inclinaison réglementaire.

Nous ferons remarquer, par contre, que le rail Vignoles présente sur celui à coussinets l'avantage d'avoir une attache plus simple et, partant, moins coûteuse, même lorsque la voie à patin est établie avec tous les perfectionnements introduits dans ces dernières années sur les lignes parcourues à très grande vitesse.

4° Billes et ballast.

La réduction notable de la pression par centimètre carré sur les traverses que

(1) Il va de soi que cette observation ne s'applique pas aux lignes à simple voie où les coins sont enfoncés moitié dans un sens, moitié en sens inverse. L'une des séries concourt seule à entraver le cheminement.

nous avons constatée pour les voies à coussinets, permet d'employer pour celles-ci des bois relativement tendres. La nature même de ces matériaux amène une réduction sensible dans le coût des supports, même lorsque, comme en Angleterre, on fait usage de pièces de bois équarries.

Il résulte des renseignements fournis par les Compagnies anglaises employant des coussinets à large empatement (0^m20715) que, même pour les billes en bois tendre, on ne constate pas de pénétration sensible du coussinet dans la traverse.

Celle-ci est mise hors d'usage uniquement pour cause de pourriture générale.

La Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans, qui fait usage de coussinets à base relativement faible (0^m20336) posés sur des traverses en chêne, émet l'avis que l'encastrement y est de peu d'importance. Il donne lieu parfois à des resabotages. On peut admettre, dit-elle, comme règle générale, que sur les lignes à grande circulation la traverse est resabotée une fois (deux au plus) dans son existence, et que sur les lignes à faible circulation elle ne l'est pas et meurt de pourriture générale avec son sabotage d'origine. Elle conclut en disant que, sans pouvoir fournir à l'appui de son opinion aucun document statistique précis, elle considère comme avéré que la consommation des traverses est beaucoup plus considérable dans la voie Vignoles que dans la voie à coussinets.

Cet emploi de traverses en bois tendre, mais de grande largeur, présente l'avantage d'augmenter la stabilité de la voie en maintenant mieux le bourrage.

M. Michel a signalé ce fait dans la deuxième session du Congrès (page VI-17) et ses appréciations ont été confirmées par MM. Pogrèbinsky et Bernard.

D'après M. Michel, il vaut mieux augmenter la largeur des traverses que leur nombre et, au point de vue du maintien du bourrage, le sapin du Nord employé en Angleterre a donné des résultats réellement merveilleux ; s'il présente moins de résistance pour supporter le choc du rail, en revanche il est excellent au point de vue de la répartition de la pression sur le ballast.

Les conclusions de la section, adoptées en séance plénière du Congrès, préconisent également cette augmentation de la largeur des traverses.

Examinant l'influence du ballast sur la conservation des voies, M. Vicaire, dans son rapport prérapporté, dit :

« Il y a une autre cause de destruction des traverses : c'est l'altération générale du bois. Sous ce rapport, il y a une différence entre les deux types de voie ;

c'est que, dans la voie à coussinets, le recouvrement de la traverse par le ballast est généralement plus épais. On a discuté beaucoup pour savoir si c'était un avantage ou un inconvénient. D'après les résultats de notre enquête, l'opinion se prononce franchement pour l'utilité du recouvrement, surtout sous les climats chauds (¹). La Compagnie du Midi rappelle à ce propos un fait intéressant : c'est que, dans la voie Brunel, les longrines se conservaient beaucoup moins longtemps que les traverses qui, placées en dessous pour les relier de distance en distance, étaient ainsi plus profondément enfoncées dans le ballast. Ce fait s'explique par les variations moins brusques de température et d'humidité. Une épaisseur même très faible de ballast suffit pour arrêter complètement l'effet direct des rayons solaires et pour tempérer celui des changements de l'atmosphère.

« Il y a donc là une circonstance décidément favorable au coussinet. Malheureusement, les faits statistiques qui pourraient permettre d'en apprécier la valeur et de comparer l'économie de renouvellement avec la dépense correspondante de ballast nous font défaut. Tant de circonstances exercent, d'ailleurs, sur la durée des traverses une influence plus considérable que ne peut être celle du type de voie, qu'il serait certainement très difficile de dégager celle-ci. Une statistique très intéressante, donnée par la Compagnie du Midi dans sa réponse à la question 53, met bien en évidence l'influence de la nature du ballast ainsi que du climat.

« Nous sommes donc réduits à déclarer qu'au total la voie établie avec des coussinets à large semelle semble présenter quelque avantage sur la voie à patin, au point de vue de la durée des traverses, mais que les données dont nous disposons ne permettent pas d'apprécier l'importance de cet avantage. »

Ajoutons cependant que les Compagnies anglaises ne semblent guère se préoccuper de cet avantage des voies à coussinets. En général, sur les lignes de la Grande-Bretagne, le ballast affleure, à l'intérieur de la voie, la surface supérieure des billes et à l'extérieur il se relève jusqu'au niveau des coins. Ces Administrations trouvent dans cette dernière disposition un moyen d'une certaine efficacité pour soustraire les coins à l'influence des rayons solaires et des variations hygrométriques et assurer ainsi d'une façon plus certaine leur serrage permanent.

Cette augmentation de l'épaisseur du ballast amène une élévation de la dépense, il est vrai, mais elle est toute facultative et doit, dans chaque cas, être mise en

(¹) Dans la huitième réunion de l'Association des chemins de fer allemands, tenue à Stuttgart en 1878, vingt-sept Administrations se sont prononcées dans le sens de l'utilité du recouvrement des traverses par du gravier pur, et sept seulement en sens contraire.

regard des avantages qu'elle procure au point de vue de la stabilité de la voie et de la conservation des éléments de celle-ci.

RÉSUMÉ.

Nous avons recherché jusqu'ici l'influence de chacun des éléments des deux systèmes de voie.

Il ne sera pas inutile, pensons-nous, de condenser les résultats de cette étude et d'indiquer, à grands traits, leurs conséquences au point de vue des conditions de premier établissement, d'entretien et de stabilité de la voie.

1° Premier établissement.

La voie Vignoles offre sur la voie à coussinets l'avantage incontestable d'une simplicité plus grande dans la pose. A priori, elle semble donner lieu aussi à une réduction sensible dans les frais de premier établissement.

M. Couche estimait celle-ci à plus de 4,000 francs par kilomètre de simple voie.

Dans une étude parue dans la *Revue industrielle* du 2 mars 1881, MM. Flammache et Huberti donnent le détail suivant du coût de premier établissement de voies comparables de chacun des deux systèmes.

A. *Voies Vignoles en rails de 42^k30* de 9 mètres de longueur, avec éclissage renforcé et joint en porte-à-faux, reposant sur 11 traverses en chêne créosoté avec plaque sur chaque appui.

| | | | |
|---|---|---|-------------|
| 2 rails de 9 mètres. | 2 × 9 × 42 ^k 30 = 761 ^k 4 à fr. | 162.50 = | 123 73 |
| Éclissage . | 2 paires d'éclisses en acier. | 2 × 19 ^k 75 = 39 ^k 50 — 140.00 = | 5 53 |
| | 8 boulons avec plaques. | 8 × 0 ^k 910 = 7 ^k 980 — 217.20 = | 1 58 |
| | | | <hr/> 7 11 |
| Attaches . | 22 plaques d'appui . . . | 22 × 3 ^k 30 = 72 ^k 60 — 135.00 = | 9 80 |
| | 66 tire-fond | 66 × 0 ^k 210 = 13 ^k 86 — 350.00 = | 4 85 |
| | | | <hr/> 14 65 |
| 11 traverses demi-rondes de 2 ^m 60 de longueur, en chêne créosoté, à raison de fr. | 5.84 | | |
| la pièce | | | 64 24 |
| | | | <hr/> |
| | Total. | | 209 73 |

Soit, par mètre courant, 23 fr. 30 c.

B. *Voies à coussinets de 42 kilogrammes*, de 9 mètres de longueur, avec éclis-

sage renforcé et joint en porte-à-faux, reposant sur 11 traverses en sapin créosoté, avec 4 attaches par coussinet.

| | | |
|--|---|---|
| 2 rails de 9 mètres | $2 \times 9 \times 42^k00 = 756^k00$ à fr. 162.50 = | 122 85 |
| Éclissage . | $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ paires d'éclisses en acier. } 2 \times 20^k00 = 40^k00 \text{ — } 140.00 = \\ 8 \text{ boulons d'éclisses avec plaque. } 8 \times 0^k910 = 7^k980 \text{ — } 217.20 = \end{array} \right.$ | $\begin{array}{r} 5 \text{ 60} \\ 1 \text{ 58} \\ \hline 7 \text{ 18} \end{array}$ |
| Attaches . | $\left\{ \begin{array}{l} 22 \text{ coussinets en fonte.} \\ 18^k00 \times 22^k00 = 396^k00 \text{ à fr. 100.00 la tonne} = \end{array} \right.$ | 39 60 |
| | $\left\{ \begin{array}{l} 22 \text{ coins en chêne à 12 centimes pièce} \\ 88 \text{ clavettes } 88 \times 0^k400 = 35^k20 \text{ à fr. 180.00} = \end{array} \right.$ | $\begin{array}{r} 2 \text{ 64} \\ 6 \text{ 34} \\ \hline 48 \text{ 58} \end{array}$ |
| 11 traverses rectangulaires de 2 ^m 60 de longueur, en sapin créosoté, à fr. 4.50 la pièce. | | 49 50 |
| Total. . . . | | <u>228 11</u> |

Soit, par mètre courant, 25 fr. 33 c.

Soit une augmentation de dépense pour la voie à coussinets de 2,030 francs par kilomètre de simple voie.

Cette différence dans le coût diminue évidemment au fur et à mesure que les progrès de l'industrie réduisent les prix unitaires des éléments constitutifs et si nous appliquons aux voies étudiées par MM. Flamache et Huberti les prix résultant des derniers marchés conclus par l'État belge, cette différence de prix n'est plus que de 1,000 francs environ par kilomètre.

Mais dans toutes les comparaisons, l'on a toujours mis en regard le coût de voies des deux systèmes dont les rails ont sensiblement le même poids.

Il semble plus rationnel, au contraire, de comparer des voies pouvant rendre les mêmes services, c'est-à-dire telles que chacune d'elles offre la même résistance à l'usure et que les deux rails, usés à leur maximum, aient encore la même résistance élastique.

La résistance à l'usure est assurée par la partie supérieure du bourrelet de roulement, la résistance élastique par la partie inférieure de la section qui subsiste seule au moment où le rail va être retiré du service.

Les diverses considérations que nous avons développées permettent de donner à ces deux parties du profil, des sections moindres pour le rail à coussinets que pour le rail Vignoles.

La dureté plus grande de l'acier qui peut être adopté pour le rail à coussinets augmente sa résistance à l'usure et autorise donc à réduire dans la même proportion la section de la partie supérieure du bourrelet.

Une meilleure répartition de la matière dans le profil du rail usé, l'augmenta-

La voie à coussinets présente, pour les lignes très parcourues, l'avantage de permettre un remplacement plus facile et plus rapide des rails défectueux.

Les pressions que supporte par centimètre carré la surface d'appui sur les billes dans les voies à coussinets, sont incomparablement moindres que dans les voies Vignoles, et l'usure des supports en est réduite dans la plus large mesure. C'est là un avantage qui, dans une exploitation, peut acquérir une importance prédominante, tant au point de vue des conséquences financières qu'à celui des entraves que le renouvellement des supports apporte nécessairement dans l'exploitation.

Mais l'emploi de plaques de dimensions de plus en plus fortes remédie dans une très large mesure à l'exagération des pressions reportées sur la bille dans les voies Vignoles. Il est même permis d'espérer que les selles mises en œuvre par l'État belge dans les voies en rails de 52 kilogrammes empêcheront la pénétration du rail dans les traverses et son déversement, tant vers l'intérieur que vers l'extérieur de la voie.

L'adoption de telles plaques ne saurait, toutefois, ajouter à la stabilité propre du rail sur sa base, qui, dans les voies Vignoles, reste toujours notablement inférieure à celle des rails à coussinets.

3° Stabilité de la voie et douceur du roulement.

Le rail à coussinets est donc plus stable sur les traverses que le rail à large base et résiste mieux aux efforts qui tendent à le renverser, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.

Ce système de voie évite aussi d'une façon absolue toute traction du rail sur ses attaches intérieures.

L'entraînement du rail dans son coussinet, tant redouté autrefois, ne semble plus guère exister et n'existe pas dans les voies anglaises.

L'entraînement longitudinal des rails qui se manifeste parfois avec intensité dans les voies Vignoles, n'existe guère dans les voies à coussinets, où chaque traverse concourt à empêcher cet entraînement.

L'adoption de traverses en bois tendre, mais de grande largeur, donne les meilleurs résultats au point de vue du maintien du bourrage sous les billes et par conséquent de la stabilité générale de la voie.

Au sujet de la douceur du roulement sur l'un et l'autre système de voie, il n'y a pas de constatations précises et formelles.

On pourrait prétendre que l'emploi de billes en bois tendre ajoute à l'élasticité

tion de la résistance élastique du métal due à sa plus grande dureté, la suppression de la trempe pendant le laminage, l'homogénéité du métal qui ne présente nulle part les criques imperceptibles que l'on peut craindre pour les arêtes du patin des rails Vignoles, sont autant de considérations qui permettent de réduire encore la section des rails à coussinets.

Ces deux réductions cumulées donneraient donc, à résistance et durée égales, un poids moindre pour le rail à coussinets que pour le rail Vignoles. Une réduction de 4 kilogrammes par mètre courant de rail suffirait pour compenser la différence de prix de 1,000 francs que nous avons indiquée. Une étude de détail montre qu'une telle réduction ne semble nullement impossible, tout en conservant au profil une condition essentielle : la raideur.

Quant à la dépense en plus pour le ballastage des voies à coussinets, nous avons fait remarquer qu'elle est absolument facultative.

On peut donc obtenir, dans les mêmes conditions de résistance élastique et de durée, des voies à coussinets dont le coût soit comparable à celui des voies Vignoles.

Rappelons encore parmi les avantages de la voie à double bourrelet, au point de vue de premier établissement, que le coussinet reposant sur une base horizontale, il est facile de réaliser avec précision l'inclinaison admise pour le rail.

Le même résultat serait d'ailleurs atteint dans les voies Vignoles par l'adoption de selles de grande largeur dont la face supérieure donnerait au rail l'inclinaison réglementaire, l'assiette sur la bille restant horizontale.

Enfin, dans les liaisons et raccordements, les rails à coussinets peuvent, comme ceux de la voie courante, être aisément établis suivant l'inclinaison réglementaire.

2° Entretien et renouvellement.

Il résulte des réponses faites par les Compagnies anglaises et françaises qui font usage de la voie à coussinets, que l'emploi du coin n'amène guère de sujétions dans la surveillance journalière des attaches. Il suffit, d'après ces renseignements, de deux visites par jour pour parer à tous les dangers pouvant résulter du desserrage des coins.

Éventuellement, des dispositions spéciales ou l'emploi des coins métalliques remédieraient d'ailleurs à cet inconvénient, l'un des plus sérieux que l'on ait invoqués contre la voie à coussinets.

Si donc une différence existe au point de vue des frais de surveillance, elle doit être des plus minimes, puisqu'elle échappe à toute constatation péremptoire.

La voie à coussinets présente, pour les lignes très parcourues, l'avantage de permettre un remplacement plus facile et plus rapide des rails défectueux.

Les pressions que supporte par centimètre carré la surface d'appui sur les billes dans les voies à coussinets, sont incomparablement moindres que dans les voies Vignoles, et l'usure des supports en est réduite dans la plus large mesure. C'est là un avantage qui, dans une exploitation, peut acquérir une importance prédominante, tant au point de vue des conséquences financières qu'à celui des entraves que le renouvellement des supports apporte nécessairement dans l'exploitation.

Mais l'emploi de plaques de dimensions de plus en plus fortes remédie dans une très large mesure à l'exagération des pressions reportées sur la bille dans les voies Vignoles. Il est même permis d'espérer que les selles mises en œuvre par l'État belge dans les voies en rails de 52 kilogrammes empêcheront la pénétration du rail dans les traverses et son déversement, tant vers l'intérieur que vers l'extérieur de la voie.

L'adoption de telles plaques ne saurait, toutefois, ajouter à la stabilité propre du rail sur sa base, qui, dans les voies Vignoles, reste toujours notablement inférieure à celle des rails à coussinets.

3° Stabilité de la voie et douceur du roulement.

Le rail à coussinets est donc plus stable sur les traverses que le rail à large base et résiste mieux aux efforts qui tendent à le renverser, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.

Ce système de voie évite aussi d'une façon absolue toute traction du rail sur ses attaches intérieures.

Le claquement du rail dans son coussinet, tant redouté autrefois, ne semble plus guère à craindre et n'existe pas dans les voies anglaises.

L'entraînement longitudinal des rails qui se manifeste parfois avec intensité dans les voies Vignoles, n'existe guère dans les voies à coussinets, où chaque traverse concourt à empêcher cet entraînement.

L'adoption de traverses en bois tendre, mais de grande largeur, donne les meilleurs résultats au point de vue du maintien du bourrage sous les billes et par conséquent de la stabilité générale de la voie.

Au sujet de la douceur du roulement sur l'un et l'autre système de voie, il n'y a pas eu, que nous sachions, de constatations précises et formelles.

On pourrait prétendre que l'emploi de billes en bois tendre ajoute à l'élasticité

de la voie à coussinets et augmente la douceur du roulement. Mais, de même que pour l'interposition du coin qui amortirait les chocs latéraux, il n'existe pas à ce sujet d'avis concordants qui permettent de se prononcer.

Ici finit notre tâche, le règlement du Congrès n'autorisant pas les rapporteurs à formuler des conclusions.

Certes, nous n'avons pu au cours de cette étude, qui reflète exclusivement nos idées personnelles, rechercher tout ce qui différencie les deux systèmes de voie, ni même donner aux points que nous avons touchés tous les développements qu'ils comportent.

Le cadre forcément restreint d'un rapport n'eût pas permis une étude approfondie, et fouillée dans tous ses détails, d'une question aussi vaste.

Nous pensons, toutefois, que les éléments qui précèdent suffiront pour permettre au Congrès de rechercher quels sont les avantages de l'un et de l'autre système de voie :

1° Pour les lignes à fort trafic parcourues par de nombreux express et pour lesquelles les considérations de stabilité et de durée de la voie semblent devoir primer toutes les autres;

2° Pour les lignes à mouvement ordinaire où la question de simplicité de pose et de réduction des frais de premier établissement peut acquérir une influence plus grande et même devenir déterminante quant au choix du système.

Faut-il ajouter qu'en cette matière, comme en beaucoup d'autres concernant l'exploitation des voies ferrées, il semble toutefois difficile de poser des règles qui soient d'application générale, et qu'en dehors des considérations intrinsèques que nous avons fait valoir, il faut souvent tenir compte de circonstances spéciales, propres au réseau envisagé?

La vitesse plus ou moins grande des trains, l'intensité du trafic, la régularité du tracé, le développement relatif des lignes à grand trafic et des lignes secondaires, la facilité du remploi dans celles-ci des matériaux provenant des premières, la valeur des matériaux et notamment des billes en bois tendres ou en bois durs, les conditions climatiques même sont autant de considérations qui peuvent influencer sur la décision à prendre.

Au cours de cette étude, nous avons jugé utile de multiplier quelque peu les

citations. Nous avons pensé qu'il serait intéressant pour le Congrès d'avoir non seulement le résultat des études personnelles de ses rapporteurs, mais aussi et surtout l'opinion des ingénieurs distingués qui ont fait de divers points controversés l'objet d'études spéciales et approfondies.

Nous terminerons donc par deux nouvelles citations.

Dans un travail résumant les résultats obtenus et formulés par la commission spéciale pour l'étude du matériel des chemins de fer de la Corse ⁽¹⁾, MM. Sartiaux et Banderali s'expriment comme suit :

« Quand il s'agit de la voie large, deux types principaux de rails, le rail à coussinet et le rail à patin, se disputent la faveur des ingénieurs, sans que la supériorité de l'un ou de l'autre soit unanimement reconnue, ou du moins acceptée par la plupart des ingénieurs.

« Si, en Angleterre, dans un pays de gros trafic, où depuis longtemps déjà les railways sont parcourus par des trains nombreux et rapides de voyageurs et de marchandises, le type de rail à patin a été abandonné presque généralement pour faire place au rail lourd ⁽²⁾ de 40 à 45 kilogrammes, à coussinet massif pesant jusqu'à 20 et 23 kilogrammes; dans les pays où le trafic est moins abondant et où les trains moins nombreux ont une vitesse moins grande, comme en Allemagne, en Autriche, etc., le rail à patin est presque exclusivement employé avec des poids de 35 à 38 kilogrammes.

« En France, où les exigences de l'exploitation, au point de vue du nombre, de la vitesse et de la charge des trains, se rapprochent, suivant les réseaux, des conditions extrêmes existant dans les pays que nous venons de citer, où les très gros trafics sont encore assez rares et où les trains nombreux et rapides de voyageurs et de marchandises sont relativement peu nombreux et, en tout cas, de création récente, on est encore divisé sur la question de savoir lequel doit être préféré, du rail à patin ou du rail à coussinet, et chacun d'eux est employé presque aussi généralement que l'autre; peut-être parce que les besoins trop

⁽¹⁾ Cette commission était composée de : MM. Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, président; Jules Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, adjoint à la direction des chemins de fer de l'État; Ledoux, ingénieur en chef des mines; A. Sartiaux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord, rapporteur de la partie relative à la voie, aux dispositions de gares, aux signaux, etc.; D. Banderali, ingénieur du service central de la traction du chemin de fer du Nord, rapporteur de la partie relative au matériel de traction et au matériel roulant.

⁽²⁾ Nous ne sachions pas que le rail Vignoles ait jamais été adopté, en Angleterre, ailleurs que sur des lignes secondaires.

récents de l'exploitation n'ont pas encore pu permettre de sortir, avec assez de certitude, du domaine des considérations théoriques.

« Il est probable que, lorsque l'expérience aura plus complètement élucidé la matière, on reconnaîtra que la voie lourde, à coussinet massif, doit être la voie des lignes à gros trafic, à trains nombreux et rapides ou à sinuosités accentuées; et que le rail à patin est le rail des chemins moins importants ou secondaires, ainsi que des voies de garage pour lesquels l'économie de construction est l'une des premières conditions à remplir.

« Quand il s'agit des chemins à voie étroite qui ont précisément été construits avec une largeur réduite de 1 mètre, parce que le trafic ne doit y avoir qu'une importance très secondaire et que les trains ne doivent circuler qu'avec des vitesses peu considérables, le rail à patin semble donc le mieux répondre aux conditions économiques que doit remplir la construction de ce genre de chemins.

« Cependant, si le trafic de la ligne doit, comme cela s'est présenté pour les chemins de la Corse, comporter des déclivités considérables et des courbes très raides et très nombreuses, si les traverses en bois tendre ne doivent offrir au patin du rail qu'une attache insuffisante, il ne faut pas hésiter à recourir au rail à double champignon encastré dans un coussinet massif solidement attaché sur la traverse. »

Par décision du 3 mars 1885, M. le ministre des travaux publics de France institua une commission pour examiner dans quelles limites il serait possible, en pays accidenté, de réduire les rayons des courbes et la longueur des alignements droits raccordant des courbes de sens contraires.

Le rapport de cette commission, rédigé par M. Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, adjoint à la direction des chemins de fer de l'État, s'exprime comme suit au sujet des mesures spéciales à prendre pour assurer la stabilité de la voie dans les courbes de faible rayon :

« Enfin, nous estimons qu'il convient de ne jamais établir ces voies avec des rails à base plate s'appuyant directement sur les traverses en bois. Il faudrait exiger des voies à double champignon symétrique ou dissymétrique s'appuyant sur des coussinets à large base. Les voies établies sur coussinets sont incontestablement supérieures aux voies Vignoles, au point de vue de la stabilité, et comme elles sont exposées avec des courbes de faible rayon, à subir des chocs violents lorsqu'elles sont attaquées obliquement par l'essieu d'avant de la machine (surtout

lorsque cet essieu ne peut pas se plier aux inflexions de la ligne), *elles doivent être recommandées, sinon exigées d'une manière absolue.*

« L'économie résultant de la suppression du coussinet est, d'ailleurs, à peu près compensée par l'obligation absolue d'employer des traverses en chêne, à l'exclusion des traverses en sapin.

« Le rail à double champignon encastré dans les mâchoires des coussinets se plie mieux aux courbes; il conserve mieux son inclinaison que le rail à base plate ou à cornière appuyé directement sur la traverse; les joints seront donc mieux ajustés et la voie plus solidement éclissée.

« La construction des lignes avec courbes de faible rayon doit se faire en tenant compte des progrès réalisés dans la construction des lignes de grande circulation.

« Si les lignes de grande circulation sont établies avec une grande solidité, parce que les voies doivent résister à la puissance vive résultant du choc latéral de masses considérables animées d'une grande vitesse, les lignes en pays de montagnes doivent être construites avec le même soin, parce que les machines, si elles sont animées d'une vitesse moins grande, attaquent le rail sous un angle plus prononcé. Ce n'est pas sur les frais d'établissement de la voie qu'il faut chercher les économies dans les régions montagneuses et escarpées, c'est sur les travaux d'infrastructure, en traçant la ligne avec des courbes de rayon tel qu'on puisse mieux épouser la figuration du terrain.

« Or, la théorie et la pratique montrent que les ingénieurs anglais ont eu raison de remplacer les voies Vignoles par des voies à coussinets; et la Compagnie d'Orléans, dont le réseau a été exécuté partie en rails Vignoles, partie en rails à coussinets, et qui a pu ainsi comparer les avantages et les inconvénients des deux systèmes, n'a cru devoir laisser circuler les trains rapides de Paris à Toulouse sur les sections construites avec rails Vignoles, qu'après avoir remplacé cette voie par une voie à coussinets dans toutes les courbes de faible rayon. »

Bruxelles, le 30 juin 1889.

DISCUSSION EN SECTION

(1^{re} SECTION)

Séance du 16 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENTE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEURS : MM. BEMELMANS ET BRUNEEL

M. Bemelmans, ingénieur en chef au chemin de fer de l'État belge, présente une analyse de l'exposé de la question qu'il a rédigé de concert avec **M. BRUNEEL**, ingénieur au chemin de fer de l'État belge.

— La discussion est ouverte.

M. Hohenegger (*Autriche*). Dans la dernière partie des conclusions, les rapporteurs disent que sur le réseau de Paris à Orléans, où l'on a établi une partie en rails Vignoles et une partie en rails à coussinets, et où, par conséquent, on a pu comparer les avantages et les inconvénients des deux systèmes, on a cru ne devoir laisser circuler les trains rapides de Paris à Toulouse sur les sections construites avec des rails Vignoles qu'après avoir remplacé cette voie par une voie à coussinets dans toutes les courbes de faible rayon.

Le rapport constate, d'autre part, que la Compagnie de Paris à Orléans fait usage d'une voie à rails Vignoles à base relativement faible.

C'est donc la base qui était mauvaise, tandis qu'avec un rail à double champignon et un coussinet à base plus large, on obtient une résistance plus grande, permettant la circulation des trains de grande vitesse.

Je me suis déjà permis de faire remarquer, dans mon rapport sur le littéra *B* de la question II, que nous avons en Autriche une ligne offrant environ 50 p. c. de courbes de très petit rayon, où circulent des machines très lourdes ayant à franchir presque partout des pays montagneux, ce qui nous a obligés d'adopter un mode particulier d'attache qui ressemble un peu au coussinet dont j'ai apporté ici un modèle. C'est une sorte de coussinet très fort et très large, comme le coussinet employé avec le rail à double champignon, ayant 360 millimètres de longueur.

J'ai démontré qu'on peut travailler avec le rail Vignoles aussi bien et même mieux qu'avec le rail à double champignon, le rail Vignoles étant aussi fort que le rail à double champignon et possédant des coussinets d'une base aussi large.

Notre coussinet est attaché au patin du rail avec des plaques et des boulons; le coussinet et le rail ne forment qu'une seule pièce.

Dans les courbes, la machine tend à soulever le rail et à arracher les attaches et les crampons. Quand le rail est simplement posé sur le coussinet, le patin étant fixé à la traverse seulement par des crampons, quel est l'effet qui se produit? Le rail soulève et arrache les crampons avec une force dont le bras de levier est égal à la largeur du patin; tandis que si le rail et le coussinet sont réunis l'un à l'autre, l'effet de la machine doit être trois fois aussi considérable, parce qu'on a une surface d'appui aussi grande qu'avec le double champignon, c'est-à-dire que le levier de résistance contre l'arrachement des crampons inférieurs a une longueur trois fois aussi grande que la largeur du patin.

Il ne faut donc pas changer le profil du rail, et on peut obtenir par ces moyens, avec le rail Vignoles, une force de résistance aussi grande, et même plus grande, qu'avec le système anglais, consistant en un rail à double champignon avec coussinets en fonte.

Le coussinet en fonte est toujours nuisible au rail : tout le monde sait que les rails s'usent beaucoup plus vite avec des coussinets en fonte; et si l'on continue à s'en servir, c'est uniquement parce qu'on y est habitué.

En Allemagne, un constructeur bien connu, M. Haarmann, avait commencé par fabriquer un profil de traverse en fer avec un coussinet ayant à peu près 4 1/2 centimètres de hauteur. Il s'était inspiré du système anglais des coussinets en fonte pour fixer les rails sur des traverses profondément enfoncées dans le ballast. Consulté par lui, je lui ai prédit que le coussinet ne résisterait pas, et c'est ce qui est arrivé. Aujourd'hui, on n'emploie plus une seule pièce de fonte entre le rail et la traverse en fer.

Le système anglais est excellent au point de vue d'une forte construction ; ce qui me déplait seulement dans ce système, c'est le coussinet en fonte. Je suis parfaitement d'accord avec ceux qui pensent que le laminage des rails à double champignon est plus facile et qu'on peut y employer un acier plus dur ; seulement, la pièce en fonte ne me plaît pas.

La question me semble devoir être encore étudiée. Le rail Vignoles tel que nous l'employons est bon, mais à la condition d'y ajouter une forte plaque attachée au rail.

M. Sandberg (*Suède*). En étudiant la question de la qualité des rails d'acier, je suis arrivé, il y a cinq ans, à la conclusion qu'il faut absolument, pour les lignes de grand trafic du continent, augmenter le poids jusqu'à celui des rails employés en Angleterre. J'ai désigné sous le nom de « Goliath » un type de rail qui a été adopté par l'État belge avec quelques modifications, et qui est sur le point d'être adopté également dans d'autres pays d'Europe, notamment en Allemagne et en Autriche.

Ce type, du poids de 50 kilogrammes environ par mètre courant, répond, je pense, aux exigences de la sécurité d'un trafic égal à celui des voies anglaises avec coussinets.

L'historique de ces études se trouve à la section 61 de l'Exposition universelle de Paris, ainsi que dans la brochure publiée par l'Institut des ingénieurs civils (juin 1889), dont j'ai eu l'honneur de déposer des exemplaires sur le bureau de notre section ⁽¹⁾.

Le type primitif a subi une petite modification de forme par l'augmentation de la largeur du bourrelet et la réduction du patin, en vue d'obtenir plus de résistance à l'usure, pour le joint plus de force et pour la base plus de sécurité ainsi que le double de durée pour les traverses en employant une semelle en acier de la même grandeur que celle du coussinet.

Vous trouverez, messieurs, tous les détails dans cette brochure ; de sorte qu'il est inutile de les répéter ici. Il est seulement un point d'une grande importance et sur lequel je crois devoir appeler toute votre attention : je veux parler de la plaque, qui paraît être indispensable surtout pour les traverses en bois tendre.

⁽¹⁾ Cette brochure a pour titre : *Nouveau rail Goliath avec semelle en acier*, par C.-P. Sandberg. (Extrait des *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*. — Juin 1889.) Paris, imprimerie Chaux, 1889.

Le seul problème qui se présente, c'est de trouver une forme pratique, simple à fabriquer, pour l'obtenir à bon marché, et pouvant s'adapter aux types de rails existant dans les voies de chaque Compagnie, même avec des rails de différentes largeurs de patins, et surtout donnant des résultats satisfaisants et pratiques. J'ai adopté la clef de fixage, comme pour les traverses métalliques établies sur une grande échelle depuis plusieurs années en Angleterre, et adoptées pour l'exportation aux Indes, dans l'Amérique du Sud et dans d'autres pays. Seulement, comme ce mode d'attache n'est applicable que pour un type de rails, j'y ai introduit une petite modification qui permet l'emploi de types différents; par conséquent, cette petite plaque mérite le nom de plaque normale, parce qu'elle peut prendre le rail de 28 jusqu'à 50 kilogrammes en employant seulement des clefs différentes. J'ai l'honneur de présenter à la section le modèle de ce type avec les explications à l'appui. Je ne m'étendrai pas sur le mode d'attache de cette plaque aux traverses, parce que les conditions sont les mêmes que celles qui doivent être admises pour le coussinet; les ingénieurs feront usage, selon leurs préférences, de crampons, de tire-fond, ou de boulons. L'attache de la plaque aux traverses se fait dans les mêmes conditions que pour le coussinet et peut être opérée à l'avance. Le choix dépend du climat et d'autres conditions. Pour l'attache du rail à la plaque, j'ai suivi le procédé employé pour la traverse métallique. Seulement, les clefs sont beaucoup plus larges, pour permettre l'adoption de rails à patins de différentes largeurs de 4 à 5 1/2 pouces anglais (1). J'admets que cette question de plaque aurait dû être étudiée en premier lieu, même avant le type « Goliath », parce que le défaut des voies est ordinairement l'attache des rails aux traverses de bois tendre, à cause de l'exiguïté de la base. Je suis donc heureux de donner ce supplément important en conseillant : 1° l'adoption d'une plaque normale, et 2° l'augmentation du poids des rails en proportion du matériel roulant qu'ils ont à supporter et de la vitesse des trains, afin d'obtenir tout à la fois la sécurité et l'économie d'entretien réalisées sur les voies anglaises établies avec coussinets.

Ceux d'entre vous, messieurs, qui voudront étudier à l'Exposition (classe 61) le type du rail « Goliath » pourront mieux s'en rendre compte, ce type ayant les dimensions de la grandeur naturelle.

M. le Président. L'heure étant assez avancée, et la discussion étant à peine

(1) Si la différence de largeur du patin des types n'est pas grande, une seule clef suffit.

commencée, je vous propose, messieurs, de renvoyer la suite de celle-ci à cette après-midi. (*Assentiment.*)

— La séance est levée à 11 heures 3/4.

— — — — —

Séance du 16 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEURS : MM. BEMELMANS ET BRUNEEL

La séance est ouverte à 2 heures.

M. Bruneel. Messieurs, avant que la discussion se poursuive, il sera peut-être utile de rencontrer dès maintenant les considérations que M. Hohenegger a développées ce matin au sujet du défaut de stabilité propre reproché au rail Vignoles.

Les dispositions proposées par M. Hohenegger et sur lesquelles nous avons appelé l'attention dans notre rapport prouvent qu'il estime, comme nous, que la stabilité de la voie Vignoles n'est pas suffisante pour que le rail résiste à la tendance au renversement soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.

Si je comprends bien la portée de son observation, elle tend moins à établir la supériorité ou même l'équivalence de la voie Vignoles par rapport à la voie à coussinets qu'à démontrer que, le rail Vignoles étant adopté sur un réseau, il est possible, dans des circonstances déterminées, de remédier à son défaut de stabilité au moyen de dispositifs spéciaux.

Les recherches faites par M. Hohenegger confirmeraient donc entièrement l'opinion que nous avons émise au sujet du manque de stabilité transversale du rail à large base.

Je ferai, d'ailleurs, remarquer en passant que les dispositions proposées constituent en somme une espèce de coussinet, un peu complexe, pour la mise en œuvre de rails Vignoles, et il n'est pas sans intérêt de les rapprocher du coussinet en fonte employé par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest français pour la pose du rail Vignoles sur son réseau.

M. Hohenegger a ajouté que l'on doit craindre que le rail ne s'use et ne se détériore rapidement au contact du coussinet. Cette observation, formulée déjà par M. Couche, était un des arguments les plus sérieux invoqués jadis contre la voie à coussinets. Les inconvénients redoutés étaient alors réels et le claquement des rails dans leurs supports provoquait rapidement une déformation du bourrelet inférieur et une détérioration profonde du métal.

En est-il encore de même aujourd'hui ?

Non, si je m'en rapporte aux déclarations formelles qui nous ont été fournies par les Compagnies anglaises que nous avons consultées. L'usure du rail au contact de ses appuis est inappréciable dans les voies anglaises fortement constituées.

Comme nous l'avons fait remarquer dans notre exposé, ce résultat doit être attribué à une forme mieux étudiée et plus rationnelle des joues des coussinets, à une fabrication plus soignée, à un calibrage plus rigoureux et enfin à une surveillance plus régulière des attaches.

M. Hohenegger ajoute, à l'appui de son objection, que partout on peut constater une usure anormale des aiguilles de changement de voie au contact des coussinets de glissement.

Mais, qu'il veuille bien le remarquer, il n'existe là aucune solidarité entre l'aiguille et son coussinet, sur lequel elle n'est qu'appuyée. Le claquement se produit fatalement, et de là détérioration et usure rapides des surfaces de contact.

L'emploi de la fonte, dit aussi M. Hohenegger, est peu rationnel pour la fabrication des supports de rails : il doit nécessairement en résulter des bris nombreux.

Non, si l'on a soin, comme en Angleterre, de donner aux coussinets de fortes dimensions.

Mais l'emploi même de la fonte n'est nullement imposé pour la fabrication des coussinets. Je rappellerai seulement à ce propos que M. Webb a adopté, pour ses traverses métalliques, des coussinets en acier estampé, qui, d'après les renseignements obtenus, donneraient les meilleurs résultats. Ils offrent cet avantage d'être munis de joues qui, par l'étampage, reçoivent une forme spéciale en creux permettant au bois du coin comprimé par le serrage de s'y détendre en formant un bourrelet qui empêche le desserrage.

Mais, je le répète, l'emploi de l'acier ne paraît nullement indispensable pour la fabrication des supports.

Je ferai remarquer incidemment que c'est par erreur que M. Hohenegger a

déclaré au début de la discussion que notre rapport constate que la Compagnie de Paris à Orléans fait usage d'une voie à rails *Vignoles* à base relativement faible. L'observation consignée dans notre exposé se rapporte au contraire à la base relativement faible des coussinets (0^m20336).

Je crois pouvoir borner ici ma réponse aux objections formulées par M. Hohenegger.

M. Hohenegger. Messieurs, si vous vous en souvenez, je ne me suis occupé, ce matin, que de la dernière partie des conclusions de MM. les rapporteurs, où il est dit que la Compagnie d'Orléans, dont le réseau se compose en partie de rails *Vignoles* et en partie de rails à coussinet, n'a cru devoir laisser circuler les trains rapides de Paris à Toulouse sur les sections construites avec rails *Vignoles* qu'après avoir remplacé cette voie par une voie à coussinets dans toutes les courbes.

J'ai dit qu'il ne fallait pas rejeter les rails *Vignoles* à cause de la mauvaise qualité des attaches, attendu qu'on peut leur donner une base aussi large qu'avec les coussinets en fonte. Pour ma part, je ne repousse pas du tout les rails à double champignon, attendu qu'ils permettent l'emploi de métal plus dur, tandis qu'avec nos rails à large patin, on ne peut exiger cette dureté extraordinaire de 85 kilogrammes par millimètre carré.

Dans la position où nous sommes au milieu de l'Europe et faisant partie du Verein allemand, nous ne pouvons pas introduire les rails à double champignon, parce que tout le monde serait contre nous.

Nous devons donc garder le rail *Vignoles*. Seulement, je dis que, pour ce profil, on peut construire un coussinet qui fixe aussi solidement le rail aux traverses en bois que les rails à double champignon.

C'est tout ce que je prétendais, mais je n'ai nullement eu la pensée de critiquer le rapport de MM. Bemelmans et Bruneel. Je suis parfaitement d'accord avec eux que, pour fabriquer un rail très dur, le rail à double champignon est préférable.

M. Sandberg. M. Hohenegger a dit qu'on peut obtenir une voie aussi bonne et même meilleure avec le rail à patin appliqué à sa plaque, que celle des voies anglaises avec coussinets.

Je crois, messieurs, qu'on ne peut considérer cela comme démontré avant plusieurs années d'expériences faites sur une échelle assez grande. Les voies anglaises sont les meilleures du monde pour un grand trafic et une grande vitesse surtout.

Prenez, par exemple, le Great Northern, où la circulation est plus rapide que partout ailleurs en Angleterre, et même, peut-on dire, dans le monde entier; eh bien, l'ingénieur en chef, M. Johnson, après avoir essayé le rail à patin assez lourd, a donné la préférence au rail avec coussinet.

On comprend que chaque pays tienne à garder son type de rail, mais on peut conclure du fait que je viens de rappeler que les Anglais ont le meilleur système.

Toutefois, si les voies Vignoles pouvaient approcher de celles des Anglais en leur donnant, par l'application d'une plaque d'acier, une base aussi large que celle des coussinets, tout en adoptant des rails ayant une moindre largeur de patin que ceux employés à présent, nous nous déclarerions satisfaits. Mais assurément, nous ne pouvons pas prétendre arriver au même résultat avec un rail Vignoles léger, mis directement sur les traverses en bois tendre et fixé avec des crampons ou des tire-fond. Le grand avantage de l'emploi de plaques, c'est qu'il permet de conserver le type de rail adopté et d'introduire cette amélioration par degré, sans dérangement des conditions existantes. Cet avantage serait réel alors même que le coût final serait le même que celui des voies anglaises; mais on n'est nullement certain d'obtenir ce résultat avant que des expériences faites sur une grande échelle en aient prouvé la possibilité.

Ce que je voudrais recommander, c'est que l'on commençât par essayer l'emploi d'une base plus large au moyen de l'application d'une plaque, qu'on choisirait de forme simple et pouvant être appliquée à l'avance aux traverses. On permettrait ainsi l'adoption de types différents de largeur de patin, sans qu'il faille obtenir une exactitude absolue à un millimètre près, comme l'exigeaient les plaques appliquées auparavant; et on rendrait possible le changement ou l'introduction, graduellement, de chaque traverse à remplacer aujourd'hui sur les voies existantes. Un essai sur quelques kilomètres de ce système de plaques et de rails lourds sera fait sur le chemin de fer de Furness, en Angleterre; et les plaques seront fabriquées à « Barrow Steel Works ».

Si nous pouvons atteindre ce but, je considère que ce sera un grand pas de fait pour l'amélioration des voies avec rails à patin.

La supériorité des voies anglaises provient moins du type de rail à double bourrelet et à coussinet que de la différence existant dans l'exploitation des chemins de fer en Angleterre et sur le continent. En Angleterre, les machines sont légères et les rails lourds; sur le continent européen, c'est le contraire. Le rail à patin sur le continent, comparé au rail à double bourrelet de la Grande-Bretagne,

est exposé à supporter un matériel roulant d'un poids double et a une base d'un quart de coussinet. C'est justement là l'origine du rail Goliath ⁽¹⁾.

M. Mantegazza (Italie). Je crois que nous sommes un peu sortis de la question qui nous est posée. Cette question est celle de savoir s'il faut donner la préférence au rail avec coussinet ou au rail Vignoles.

On a signalé ici des améliorations ayant pour but d'assurer aux rails Vignoles les avantages des rails à coussinet. Mais la question ne comporte pas une solution absolue : tel système peut être préférable à l'autre dans des conditions déterminées.

Pour ma part, je suis un *coussinettiste* d'ancienne date. (*Rires.*) J'ai même fait connaître à M. Couche, quand il a publié son ouvrage : *Voie, matériel roulant, etc.*, les raisons pour lesquelles la Compagnie qui exploitait à cette époque préférait le système des coussinets ; c'est notamment que ce système offre l'avantage de répartir la pression sur une plus large surface, si l'on donne au coussinet des dimensions convenables, et d'effectuer cette répartition mieux qu'avec la plaque de fond, à cause de la rigidité de la table du coussinet.

Il permet aussi l'emploi d'un métal plus dur et d'un laminage plus facile, ce qui n'a pas toujours lieu avec un rail Vignoles, surtout si, pour éviter en partie les inconvénients qu'il présente, on doit lui donner un large patin. Dans ces conditions, le rail Vignoles est d'une fabrication relativement difficile, car il faut employer un métal doux, et l'on reconnaît que cela ne vaut rien au point de vue de l'usure.

Or, nous devons aussi rechercher un métal qui résiste le plus à l'usure. Dans ma conviction, le rail à coussinet est le rail de l'avenir pour les voies à grand trafic.

Il vous paraîtra peut-être étrange, messieurs, que moi qui ai un réseau de 5,000 kilomètres, je n'aie qu'une vingtaine de kilomètres de voie à coussinet. C'est une voie où il y a des rampes qui vont jusqu'à 3 1/2 p. c., et nous n'aurions pas pu l'exploiter sans rails à coussinet, à cause du trafic qui est extrêmement intense.

C'est surtout sur les voies en tunnel que l'emploi des coussinets est avantageux, parce qu'on n'y dispose que d'un espace restreint, dans des conditions défec-tueuses, et que les travaux de réparation, surtout les changements des rails, y sont par conséquent très difficiles.

(¹) Voir *Revue universelle des mines*, t. XIX, 2^e série, p. 428, 30^e année, 1886 : « L'éclissage des rails », par C.-P. Sandberg.

Je le répète, messieurs, la question posée ne comporte pas une solution uniforme et absolue; mais je suis convaincu que la voie à coussinet deviendra celle de l'avenir. Ce qui me confirme dans cette conviction, c'est que l'Angleterre, le pays pratique par excellence, a adopté ce système et l'a repris après l'avoir temporairement abandonné. Si le rail Vignoles a prévalu, c'est qu'il était plus économique à l'origine, il y a une trentaine d'années. On s'est plus préoccupé alors des raisons d'économie de premier établissement que d'autres considérations.

Je conclus en disant que la voie à coussinet est celle qui triomphera, et que les Compagnies ont eu tort de chercher à obvier aux inconvénients des rails Vignoles au lieu de les remplacer. Rien de plus simple que le coussinet. En Angleterre, on lui donne un poids de 24 à 25 kilogrammes, et il est fixé en deux ou quatre points; tandis que dans le système Vignoles, avec des plaques fixées sur les traverses, le rail est exposé à ferrailer au passage des trains de grande vitesse, à défaut d'un encastrement suffisant sur les appuis.

M. Hohenegger. Jusqu'à présent, on n'a parlé que du meilleur mode de construction, et j'ai fait remarquer qu'avec notre système, on peut obtenir une force de résistance à l'arrachement aussi grande qu'avec le coussinet.

M. Mantegazza croit que le rail avec coussinet est le rail de l'avenir. Je regrette de ne point partager cette opinion. A mon avis, le rail sur longrine est la voie de l'avenir : elle est indispensable dans les courbes à petit rayon, à cause de sa grande résistance contre les forces transversales. Sur notre ligne de Vienne à Berlin, il y a des courbes de 275 mètres sur des pentes de 10 p. m., et il y circule des machines plus lourdes que dans aucun autre pays. Il fallait donc tâcher d'obtenir une construction plus solide, spécialement pour les courbes. Beaucoup d'ingénieurs préfèrent les longrines pour les lourds trafics. Nous avons ainsi 90 kilomètres établis depuis douze ans; si vous voulez me faire l'honneur de visiter notre réseau, vous verrez qu'il est impossible de construire plus solidement.

M. le Président. Il me semble que nous anticipons un peu sur la question II, littéra B, qui concerne la fixation des rails Vignoles aux traverses en bois.

M. Brière (France). Je demande la parole uniquement pour rectifier une assertion qui vient d'être émise. M. Hohenegger prétend que pour les lignes à grand trafic et ayant des courbes de petit rayon, le rail Vignoles aurait une supériorité incontestable sur le rail à double champignon.

Sur la section de Limoges à Toulouse de notre réseau, ayant une étendue de 250 kilomètres environ, nous avons des courbes d'un rayon de 500 mètres et même de 300 mètres et des rampes de 16 millimètres par mètre, et c'est cependant une de celles où se fait le trafic le plus lourd; cette ligne est parcourue journellement par trois express dans chaque sens avec les plus lourdes machines de la Compagnie, et la vitesse y est de 70 à 75 kilomètres par heure; elle atteint même, en certains cas, 90 kilomètres.

Outre ces express, il y a sur cette ligne un trafic de marchandises extrêmement actif, comportant des trains allant jusqu'à 60 voitures. Cette ligne est donc dans des conditions de trafic exceptionnelles; et cependant elle est pourvue de rails à double champignon avec coussinet, suivant la formule ordinaire.

Nous avons conservé le rail à double champignon, comme au temps du rail en fer non éclissé; c'est-à-dire que nous avons un profil de 36 kilogrammes, avec un éclissage médiocre; et néanmoins, malgré ces conditions défavorables, nous circulations sans accidents.

L'année dernière, j'ai, avec quelques ingénieurs, fait un voyage d'expérience de Limoges à Toulouse; nous avons marché à la vitesse de 90 kilomètres sur des courbes de 300 mètres. L'expérience a démontré que la voie se comporte parfaitement, et il en est ainsi tous les jours de l'année, sans, je le répète, qu'il en résulte aucun accident aux trains nombreux et lourds qui parcourent cette ligne.

M. Jules Michel (*France*). On a parlé tout à l'heure de la fabrication des rails. Nous avons, pour notre part, au chemin de fer de Lyon, les rails Vignoles depuis plus de vingt-cinq ans, et je crois qu'on a beaucoup exagéré les difficultés de fabrication. Au point de vue du dressage, les usines savent très bien disposer le travail de manière qu'au refroidissement le rail reprenne sa position normale; et le redressement se fait dans les mêmes conditions pour les rails à double champignon et pour les rails Vignoles.

La seconde question soulevée est celle du trempage pour le patin.

Il y a quinze ans, la Compagnie de Lyon avait voulu faire un rail léger de 33 kilogrammes au lieu de 37 kilogrammes, et, pour obtenir cette diminution, on avait réduit l'épaisseur du patin: il n'avait plus qu'une épaisseur de 6 millimètres sur les bords. C'était trop peu. Nous sommes revenus à un patin plus fort, et maintenant ces rails ont une épaisseur de 11 millimètres au bord du patin et pèsent 34^k20. Dans ces conditions, le trempage ne se fait plus pendant le refroidissement.

Ces deux objections ne me paraissent donc pas de nature à diminuer la confiance dans la valeur du rail Vignoles. Du reste, les résultats de l'emploi de ce genre de rails nous en démontrent suffisamment les qualités. Après six ans de pose, nous n'avons eu qu'un rail rebuté sur 5,000. Il n'y a donc pas eu affaiblissement de la qualité du métal par suite des conditions de fabrication.

J'ajouterai maintenant quelques considérations au point de vue de l'emploi du rail Vignoles. Sur le chemin de fer de Lyon, il s'emploie sur les lignes les plus chargées comme sur les rampes les plus fortes, les rampes de 30 millimètres par exemple, comme nous en avons aux abords du souterrain du mont Cenis. Seulement, il faut avoir soin d'augmenter les surfaces d'appui du rail sur la traverse, pour éviter que le bois soit bûché, comme on l'a dit. On obtient ce résultat au moyen d'une selle en acier assez large, et dans ces conditions, les résultats sont des plus satisfaisants. L'usure des traverses ne dépasse pas celle que l'on constate avec l'emploi des coussinets.

Mais j'insiste sur l'application de ces selles, qui ont pour but non seulement d'améliorer la situation des rails par rapport au bois, mais aussi d'empêcher le phénomène dont on a parlé ce matin, c'est-à-dire l'usure qui se produit au contact du patin du rail et des attaches et qui a pour effet de les entailler.

La selle avec des rebords dans lesquels se trouve engagé le corps du tire-fond ou du crampon prévient cet inconvénient. Ainsi, avec la selle, le rail, ses attaches et le bois de la traverse, c'est-à-dire les organes essentiels de la voie, sont convenablement protégés.

En résumé, messieurs, il faut, selon moi, considérer comme nécessaire l'emploi d'une selle sous le patin des rails Vignoles, quelle que soit sa largeur. Nous avons admis une largeur de 13 centimètres, que nous jugeons nécessaire pour conserver un bon appui.

Je ne dirai pas grand'chose de la pose. Ce qui est le plus difficile dans le remplacement des rails Vignoles, ce n'est pas tant l'enlèvement des attaches, c'est le desserrage des boulons et des éclisses. La difficulté est la même pour les rails à double champignon.

On a parlé aussi du renversement du rail. Pour ma part, je ne l'ai jamais remarqué que dans les voies de service des gares mal entretenues et quand les attaches ne tenaient plus. Il ne s'agit pas ici d'une question de vitesse : une simple manœuvre de gare a produit ce renversement de rail. Sur nos voies principales, nous avons eu quelquefois des déplacements de la voie, soit en courbe, soit autrement; mais ce sont les traverses qui s'étaient déplacées dans le

ballast. Dans ces conditions, il importe peu que le rail soit à patin ou à coussinet : ce n'est pas le type de rail qui est la cause du déplacement.

Enfin, on a parlé de la dureté du métal employé. On a dit qu'on peut arriver à faire des rails donnant 80 kilogrammes de résistance par millimètre carré à la traction. Nous avons aussi, en général, de 70 à 80 kilogrammes de résistance à la traction pour l'acier des rails à patin. J'ajoute que leur forme est, comme celle des rails à double champignon symétriques, très appropriée à un bon emploi du métal. Or, on a abandonné le rail à double champignon symétrique pour le rail plus lourd, dont la partie supérieure est beaucoup plus développée que la partie inférieure.

Dans ces conditions, le moment d'inertie ne répond pas à l'augmentation du poids, parce que le centre de gravité se trouve beaucoup relevé. Il en résulte que le métal travaille d'une manière inégale, ce qui n'a pas lieu dans les rails à patin, tels que le dernier type du chemin de fer de Lyon, par exemple.

Maintenant, quelle sera la voie de l'avenir ? Il serait encore difficile de le prédire, et, dans tous les cas, la différence des conditions climatiques ne permettra pas une solution absolue et uniforme de la question. J'ai eu à entretenir des voies à coussinets avec coins en bois ; et fréquemment, sous l'influence de la température, le coin se desserrait et tombait sous les vibrations produites par le passage des trains. Un personnel spécial d'ouvriers était nécessaire pour remettre les coins en place. Il y a là une difficulté et une dépense, sans parler du danger. Je ne la crois pas insurmontable. Déjà on a annoncé, depuis quelque temps, l'emploi de coins en fer, qui auraient donné de bons résultats. Si l'expérience les confirmait, ce serait un grand progrès ; mais, comme l'a dit M. Bemelmans, les coins en bois sont jusqu'ici le point délicat de la voie à coussinets.

M. Brière. Comme je l'ai dit déjà, je n'entends pas discuter la question. Je tiens seulement à établir un fait relatif au peu de stabilité des coins. C'est là le grand reproche que l'on fait à la voie à double champignon. Or, il existe un moyen radical d'empêcher les coins de tomber : c'est d'employer les coins David, en acier. Il est avéré, en effet, qu'ils ne bougent pas. Pourquoi ne faisons-nous pas usage de ce coin ? Pour le motif bien simple que nous n'en éprouvons pas le besoin ; ici comme en beaucoup de choses, il y a en jeu une question d'argent. Le coin David coûte 35 centimes ; le coin en bois n'en coûte que dix ; différence, 25 centimes par coin.

Certes, ce ne serait pas une ruine, et si la nécessité en était démontrée, il n'y

aurait pas à hésiter à faire ce sacrifice. Mais c'est cette démonstration qui n'a pas été faite jusqu'à présent.

M. Bricka (*France*). Je tiens à ajouter quelques mots à ce que vient de dire M. Brière au point de vue de l'entretien de la voie à double champignon. MM. Bemelmans et Bruneel mettent parfaitement en lumière, dans leur rapport, l'économie que la voie à double champignon permet de réaliser sur les traverses. Celles-ci durent au moins un an ou deux de plus dans la voie à double champignon que dans la voie Vignoles.

Des membres. Bien plus.

M. Bricka. Il m'est arrivé fréquemment de voir, avec le rail à double champignon, retirer des voies des traverses absolument pourries et qui tombaient en morceaux, et cependant nous n'avons jamais eu d'accident dû à la rupture des traverses : avec la voie Vignoles, les traverses deviennent dangereuses dès qu'elles sont en mauvais état.

Au point de vue de la vitesse, M. Michel disait tout à l'heure que les rails Vignoles supporteraient les plus grandes vitesses. Nos expériences personnelles ne nous confirment pas absolument cette appréciation ; sur notre réseau, nous ne dépassons pas, sur les voies Vignoles, la vitesse de 80 kilomètres, tandis que sur les voies à double champignon, dans les mêmes conditions de pentes et de courbes, on va jusqu'à 90 kilomètres et plus.

Ici encore, ce ne sont pas des spéculations théoriques qui nous ont amenés à prendre cette résolution ; mais nos chefs de section et nos ingénieurs acceptent sans crainte l'augmentation de vitesse sur les voies à double champignon, tandis qu'elle les effraye sur les voies Vignoles.

M. Jules Michel. En parlant de la vitesse, j'avais en vue notre ligne de Lyon. Mais tout le monde sait que sur les voies Vignoles des Compagnies du Nord et de l'Est, avec des rails pesant 30 kilogrammes le mètre courant, les trains marchent souvent à des vitesses de 110 à 120 kilomètres. On ne peut donc dire que les voies à coussinets seules conviennent aux lignes à grande vitesse.

M. Bricka. Les conditions de profil et de plan sont autres, et mon observation concorde avec celle de M. Bemelmans, qui, dans son rapport, fait remarquer qu'on n'a pu laisser circuler les trains rapides de Paris à Toulouse qu'après avoir remplacé les rails Vignoles par une voie à coussinets dans toutes les courbes de faible rayon.

Ceux de nos agents qui ont eu à entretenir des voies des deux systèmes sont unanimes à déclarer que la voie à double champignon offre plus de sécurité. C'est le seul point que j'aie cru devoir mettre en lumière.

M. Bruneel. Les membres qui viennent de prendre la parole ont déjà répondu à la plupart des objections formulées par M. Michel au sujet des voies à coussinets. Je lui dois toutefois encore un mot de réponse, en ce qui concerne trois des points qu'il a touchés.

M. Michel s'est occupé tout d'abord des conditions de fabrication des rails et a déclaré que l'on s'était beaucoup exagéré les difficultés de production de rails lourds à large base. C'est là une question toute spéciale de métallurgie que je ne veux pas traiter, n'étant pas compétent pour le faire.

Mais il a déclaré aussi que la trempe que l'on redoute pour le patin et qui serait de nature à provoquer des bris, n'est guère à craindre lorsque le patin du rail est suffisamment épais et que les industriels prennent pour la fabrication les précautions nécessaires. Il a, sur ce point, contesté quelque peu l'affirmation des ingénieurs métallurgistes, qui prétendent que dans la fabrication des rails Vignoles à large base, il se produit souvent, au bord du patin, des criques de nature à provoquer des bris parfois même à la simple manutention des barres.

M. Michel a invoqué à l'appui de son opinion les résultats obtenus sur le réseau des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, où le rail Vignoles est exclusivement employé.

Cependant, dans un article paru en 1881 dans les *Annales des mines* et dont nous reproduisons un extrait dans notre exposé, M. Gruner s'exprime comme suit :

« Quoique l'acier des rails à patin de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée soit moins dur que celui des rails à double champignon de la Compagnie du Midi, le nombre des barres rompues lors de la pose, par la simple manutention, et renvoyées à l'usine pour ce motif, est de huit à dix fois plus considérable pour les rails à patin que pour les rails à double champignon. Les premiers exigent donc, je le répète, un acier moins dur et un patin moins aminci sur les bords. »

Si je consulte encore les documents publiés pour le Congrès, je trouve dans la note rédigée par M. Hallopeau, au sujet des essais de rails PM de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, lesquels ne pèsent cependant que 38 kilogrammes :

« Dans les essais de choc sur les chutes, rarement on a des ruptures; lorsqu'il

« s'en produit (au plus 6 p. c.), elles tiennent le plus souvent à la présence de criques au patin. »

Je pense donc que les résultats obtenus, si satisfaisants qu'ils puissent être sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, grâce aux conditions rigoureuses de la fabrication, ne valent pas ceux qui peuvent être atteints par les rails à double champignon, qui n'exigent pas pour la fabrication de mesures de précaution spéciales.

M. Michel a parlé aussi du renversement du rail Vignoles et constaté qu'il ne l'avait remarqué que dans des voies mal entretenues, dont les attaches ne tenaient plus.

Je pense qu'il y a ici malentendu, et que lorsque M. Michel parle du renversement du rail, il a en vue un mouvement brusque, instantané, tout d'une pièce, qui revêt le caractère d'un accident et peut provoquer des catastrophes. Ce phénomène-là est en effet tout exceptionnel.

Mais dans ma pensée, il ne s'agit que d'un renversement lent, continu, qui persiste pendant toute la durée du maintien du rail dans la voie, et n'a d'autre effet que d'augmenter ou de réduire la largeur de la voie.

Peut-être le mot déversement exprimerait-il plus exactement ma pensée, et j'ai lieu de croire que le fait étant ramené à sa véritable valeur, nous serons bien près de nous entendre pour reconnaître la réalité du phénomène de renversement du rail Vignoles.

Enfin, M. Michel a critiqué la formule du rail *bull-headed*, qu'il trouve irrationnelle au point de vue de la résistance, le centre de gravité étant beaucoup trop relevé.

Mais, qu'il veuille bien me permettre de le constater, M. Michel verse précisément dans l'erreur que nous avons signalée dans notre exposé en rappelant comment l'introduction de l'acier a modifié les conditions de résistance des rails :

« Si le rail en fer, disions-nous, doit être étudié au point de vue de sa résistance lorsqu'il est neuf, celui en acier doit être calculé de telle façon qu'il résiste encore aux conditions du trafic lorsqu'il a atteint sa limite d'usure. »

Et plus loin :

« Ce sont donc les sections de rails réduites à leur minimum par l'usure qu'il faut étudier au point de vue de la résistance élastique et qu'il faut comparer entre elles. »

M. Michel, en faisant remarquer que la forme du rail Vignoles se rapproche

davantage du profil symétrique et se trouve ainsi dans de meilleures conditions de résistance à la flexion, n'a envisagé que les profils des rails neufs.

Or, c'est le profil usé qu'il est le plus intéressant d'étudier, puisque c'est précisément lorsqu'il est atteint que le rail se trouve dans les conditions les plus critiques au point de vue de la résistance.

En agissant ainsi, nous constaterons que, dans les profils usuels de rails à coussinets usés, la section du bourrelet de roulement reste supérieure à celle du bourrelet inférieur, et que l'usure s'accroissant, le profil se rapproche de plus en plus de la symétrie, condition de la meilleure utilisation du métal.

Dans le rail Vignoles, au contraire, le patin a, dès l'origine, une section supérieure à celle du bourrelet, et cette différence va naturellement en s'accroissant au fur et à mesure que l'usure augmente. Le rail Vignoles usé à son maximum se trouve ainsi dans les plus mauvaises conditions de résistance, à raison non seulement de la réduction de section, mais encore de la répartition défectueuse de la matière dans le profil conservé.

L'objection formulée contre le rail *bull-headed* ne paraît donc pas fondée et se retourne au contraire contre le profil Vignoles.

M. Jules Michel. J'ai l'honneur de faire remarquer que les assertions de M. Grüner, dans les *Annales des mines* de juillet 1881, reposaient sur des renseignements insuffisants ou erronés. Elles ont fait l'objet d'une note rectificative publiée par M. Coüard dans la *Revue générale des chemins de fer* (mai 1883, p. 401).

M. Bruneel. La note rappelée par M. Michel n'est pas précisément rectificative de celle de M. Grüner. Elle se borne à constater que l'on ne peut conclure de celle-ci que les rails de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, cassés pendant la manutention, sont en très grande quantité. Mais elle ne conteste pas que les barres rompues lors de la pose sont de huit à dix fois plus nombreuses pour les rails à patin que pour les rails à double champignon.

Les renseignements fournis par M. Hallopeau restent d'ailleurs absolument incontestés.

Séance du 17 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEURS : MM. BEMELMANS ET BRUNEEL

M. le Président. La parole est à M. le Secrétaire principal pour communiquer à la section le rapport qu'il a rédigé.

M. Perk. « Pour base des discussions, la section disposait d'un rapport de MM. Bemelmans et Bruneel.

« Après avoir énuméré le pour et le contre des deux systèmes au point de vue historique, ces messieurs ont continué leur étude en recherchant l'influence exercée dans l'état actuel de la question :

- « 1° Par la forme du rail;
- « 2° Par son appui sur les supports;
- « 3° Par ses moyens d'attache;
- « 4° Par les billes et le ballast.

« Dans leur résumé, ils ont démontré que les frais de premier établissement n'ont pas besoin d'être plus élevés pour la voie à coussinets que pour la voie Vignoles, lorsque l'on compare des voies pouvant rendre les mêmes services, c'est-à-dire telles que chacune d'elles offre la même résistance à l'usure et que les deux rails, usés à leur maximum, aient encore la même résistance élastique.

« La dureté plus grande de l'acier qui peut être adopté pour le rail à coussinet augmente sa résistance à l'usure et autorise donc à réduire dans la même proportion la section de la partie supérieure du bourrelet.

« Pour ce qui concerne l'entretien et le renouvellement, la voie à coussinets présente, pour les lignes très parcourues, l'avantage de permettre un remplacement plus facile et plus rapide des rails défectueux; par contre, l'emploi du coin exige une surveillance plus exacte. L'usure des supports dans la voie à coussinets est beaucoup moindre que dans la voie Vignoles; on remédie à cette usure par l'emploi de plaques de dimensions de plus en plus fortes.

« Quant à la stabilité de la voie et à la douceur du roulement, l'on reconnaît que le rail à coussinet est plus stable sur les traverses que le rail à large base et

résiste mieux aux efforts tendant à le renverser, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.

« L'entraînement longitudinal des rails qui se manifeste parfois avec intensité dans les voies Vignoles n'existe guère dans les voies à coussinets.

« Au sujet de la douceur du roulement sur l'un et l'autre système de voie, des constatations précises semblent faire défaut.

« A la fin de leur rapport, MM. Bemelmans et Bruneel relevaient que la Compagnie d'Orléans, dont le réseau a été exécuté partie en rails Vignoles, partie en rails à coussinet, n'a cru devoir laisser circuler les trains rapides de Paris à Toulouse sur les sections construites avec rails Vignoles qu'après avoir remplacé cette voie par une voie à coussinets dans toutes les courbes de faible rayon ⁽¹⁾.

« Une discussion très nourrie a eu lieu entre les partisans des deux systèmes. On a démontré, d'une part, qu'on pouvait remédier en grande partie, pour ce qui se rapporte à la stabilité, aux défauts de la voie Vignoles par l'emploi de plaques plus fortes. Pour ce qui regarde la construction, on était à peu près d'accord que les rails à coussinet avaient l'avantage de permettre l'emploi d'un acier plus dur que le rail Vignoles.

« La section a pensé pouvoir proposer au Congrès les conclusions suivantes :

« La section estime que les voies à coussinets et les voies Vignoles fortement constituées offrent toute garantie au point de vue de la sécurité de l'exploitation.

« Toutefois, la voie lourde à coussinets à large base semble devoir être plus spécialement la voie des lignes parcourues par des trains nombreux et lourds, circulant à de très grandes vitesses.

« Elle serait avantageuse encore pour les lignes à sinuosités très accentuées.

« La voie Vignoles, qui, débarrassée des compléments indispensables pour les lignes à grande vitesse, est plus économique de premier établissement que la voie à coussinets, peut être préférée pour les lignes à trafic moins lourd et surtout à trains moins rapides.

« Toutefois, en cette matière, comme en beaucoup d'autres concernant l'exploitation des voies ferrées, il est difficile de poser des règles qui soient d'application générale, et, en dehors des considérations intrinsèques inhérentes à chaque système de voie, il faut tenir compte des circonstances spéciales propres au réseau envisagé.

(1) *Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, 3^e année, p. 709.

II-A

63

« La vitesse plus ou moins grande des trains, l'intensité du trafic, la régularité du tracé, le développement relatif des lignes à grand trafic et des lignes secondaires, la facilité du remploi dans celles-ci des matériaux provenant des premières, la valeur des éléments constitutifs, et notamment des billes en bois tendre ou en bois dur, les conditions climatériques même, sont autant de considérations qui peuvent influencer sur la décision à prendre dans chaque cas particulier. »

— Ces conclusions sont adoptées.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 21 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. Bruneel donne lecture du rapport de la 1^{re} section sur la question II-A et des conclusions proposées. (Voir ci-dessus le compte rendu de la séance de section du 17 septembre.)

M. le Président. J'ai l'honneur de vous proposer d'adopter la rédaction suivante :

« L'assemblée estime que les voies à coussinets et les voies Vignoles fortement constituées offrent toute garantie au point de vue de la sécurité de l'exploitation. Toutefois, la voie lourde, à coussinets à large base, semble devoir être plus spécialement la voie des lignes parcourues par des trains nombreux et lourds, circulant à de très grandes vitesses.

« Elle serait avantageuse encore pour les lignes à sinuosités très accentuées.

« La voie Vignoles, qui, débarrassée des compléments indispensables pour les lignes à grande vitesse, est plus économique de premier établissement que la voie à coussinets, peut être préférée pour les lignes à trafic moins lourd et surtout à trains moins rapides.

« Toutefois, en cette matière, comme en beaucoup d'autres concernant l'exploitation des voies ferrées, il est difficile de poser des règles qui soient d'application générale, et, en dehors des considérations intrinsèques inhérentes à chaque système de voie, il faut tenir compte des circonstances spéciales propres au réseau envisagé.

« La vitesse plus ou moins grande des trains, l'intensité du trafic, la régula-

II-A

65

“ rité du tracé, le développement relatif des lignes à grand trafic et des lignes
“ secondaires, la facilité du remploi dans celles-ci des matériaux provenant des
“ premières, la valeur des éléments constitutifs, et notamment des billes en bois
“ tendre ou en bois dur, les conditions climatériques même, sont autant de
“ considérations qui peuvent influencer sur la décision à prendre dans chaque cas
“ particulier. ”

— Ces conclusions sont adoptées sans observations.

QUESTION II, LITTÉRA B

FIXATION

DES

RAILS VIGNOLES AUX TRAVERSES EN BOIS

—♦—

Quels sont les meilleurs modes de fixer les rails Vignoles aux traverses en bois? Exposer notamment, avec faits à l'appui, les avantages et les inconvénients : 1° des tire-fond ; 2° des crampons.

QUESTION II, LITTÉRA B

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|---|-----------|
| Exposé par M. HOHENEGGER (13 figures) | II-B — 3 |
| Discussion en section. | II-B — 34 |
| — en séance plénière et conclusions | II-B — 40 |

EXPOSÉ

Par HOHENEGGER

DIRECTEUR DE LA CONSTRUCTION AUX CHEMINS DE FER NORD-OUEST AUTRICHIEN ET JONCTION SUD-NORD ALLEMANDE

AVANT-PROPOS.

Pour répondre à cette question, j'ai rédigé quatorze questions subsidiaires qui renferment tous les points qu'il est utile de connaître :

Voici ce questionnaire :

1. Quel mode d'attaches employez-vous sur vos voies à grande circulation ?
Joindre à votre rapport les dessins des différentes attaches employées.
2. Quelles espèces de bois sont employées pour les traverses en bois ?
3. Quel pour-cent des traverses en bois vous faut-il renouveler par an pour cause de destruction mécanique ?
4. Quelle influence a l'emploi des plaques d'appui en fer :
 - a) Sur la durée des traverses en bois;
 - b) Sur la conservation de la largeur normale de voie ?
5. Quel pour-cent des plaques d'appui vous faut-il renouveler par an, pour cause de bris :
 - a) Des plaques de fer soudé;
 - b) Des plaques d'acier doux ?

II-B

4

6. Quel modèle de crampons employez-vous?
7. Les traverses en bois sont-elles forées avant d'enfoncer les crampons?
8. Quel pour-cent des crampons vous faut-il renouveler par an pour cause de bris ou pour cause d'usure?
9. Quel modèle de tire-fond employez-vous?
10. Quel pour-cent des tire-fond vous faut-il renouveler par an pour cause de bris ou pour cause d'usure?
11. A quelles attaches donnez-vous la préférence, aux crampons ou aux tire-fond? Et à quelle place de la voie (bilatéralement aux rails, latéralement, intérieurement ou extérieurement) les mettez-vous?
12. Quelle expérience avez-vous acquise sur la résistance des attaches (soit crampons, soit tire-fond) à l'arrachement (dans le sens de leur axe) hors de la traverse, causé par la pression latérale du matériel roulant sur les rails?
13. Quelle relation recommandez-vous entre la largeur du patin et la hauteur des rails Vignoles?
14. En dehors des crampons et des tire-fond, employez-vous d'autres et de plus forts modes d'attache pour fixer le rail Vignoles sur la traverse en bois? Quels sont-ils et quels résultats donnent-ils?

J'ai envoyé ce questionnaire à tous les membres du Congrès international des chemins de fer en Europe, et j'ai reçu jusqu'au 15 mai dernier des réponses de soixante et une Administrations.

Ces Administrations sont les suivantes :

I. — *Russie.*

| Numéro. | Longueur en kilomètres. | |
|---------|----------------------------|--|
| 1 | 609 | Chemin de fer de la Baltique. |
| 2 | 2,371 | Grande Société des chemins de fer russes, à Saint-Pétersbourg. |
| 3 | 1,178 | Chemin de fer de l'État de Finlande, à Helsingfors. |
| 4 | 1,275 | — de Libau-Romny, à Minsk. |
| 5 | 542 | — d'Orenbourg, à Saint-Pétersbourg. |
| 6 | 2,464 | — du Sud-Ouest de la Russie, à Kiew. |
| 7 | 261 | — de Dunabourg-Witebsk, à Dunabourg. |
| 8 | 211 | — de Riazan-Koslow, à Moscou. |
| 9 | 461 | — d'Iwangorod-Dombrowa, à Varsovie. |
| 10 | 167 | — de Nowgorod, à Saint-Pétersbourg. |
| 11 | 249 | — de Riga-Dunabourg, à Riga. |

II-B

5

II. — Roumanie.

| Numéro. | Longueur en kilomètres. | |
|---------|----------------------------|--|
| 12 | 1,902 | Direction royale des chemins de fer de l'État, à Bucarest. |

III. — Turquie.

| | | |
|----|-------|--|
| 13 | 1,395 | Compagnie d'exploitation des chemins de fer orientaux, à Constantinople. |
|----|-------|--|

IV. — Serbie.

| | | |
|----|-----|---------------------------------------|
| 14 | 396 | Chemins de fer de l'État, à Belgrade. |
|----|-----|---------------------------------------|

V. — Suède.

| | | |
|----|-------|--|
| 15 | 116 | Chemin de fer de Nora-Karlskoga-Otterbäck, à Nora. |
| 16 | 84 | Chemins de fer de Pälisboda-Finspong et Finspong-Norsholm, à Finspong. |
| 17 | 2,464 | Chemins de fer royaux de l'État de Suède, à Stockholm. |

VI. — Norvège.

| | | |
|----|-------|---|
| 18 | 1,494 | Chemins de fer de l'État de Norvège. (Direction centrale de l'exploitation et de la construction, à Christiania.) |
|----|-------|---|

VII. — Danemark.

| | | |
|----|-------|---|
| 19 | 76 | Chemin de fer de la Fionie méridionale, à Odense. |
| 20 | 50 | — de l'Est de Seeland, à Copenhague. |
| 21 | 1,525 | — de l'État, à Copenhague. |
| 22 | 116 | — de Lolland-Falster, à Copenhague. |

VIII. — Allemagne.

| | | |
|----|-----|---|
| 23 | 97 | Chemin de fer du Grand-Duché de Sleswig-Holstein, à Glückstadt. |
| 24 | 126 | — de Lübeck-Büchen, à Lübeck. |
| 25 | 69 | — de Weimar-Gera, à Weimar. |

IX. — Autriche-Hongrie.

| | | |
|----|-------|--|
| 26 | 846 | Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand, à Vienne. |
| 27 | 721 | — de Lemberg-Czernowitz-Jassy, à Vienne. |
| 28 | 4,226 | Chemins de fer de l'État hongrois, à Budapest. |
| 29 | 2,225 | Direction générale de la Sudbahn, à Vienne. |
| 30 | 2,655 | — de la Société autrichienne-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État, à Vienne. |

II-B

6

| Numéro. | Longueur en kilomètres. | |
|---------|----------------------------|--|
| 31 | 270 | Chemins de fer unis d'Arad et de Csanad, à Arad. |
| 32 | 5,209 | — de l'État autrichien, à Vienne. |
| 33 | 1,220 | — Nord-Ouest autrichien et jonction Sud-Nord allemande à Vienne. |

X. — Suisse.

| | | |
|----|-----|---|
| 34 | 317 | Chemin de fer de Jura-Berne-Lucérne, à Berne. |
| 35 | 266 | — du Gothard, à Lucerne. |
| 36 | 317 | — de la Suisse occidentale, à Lausanne. |

XI. — Italie.

| | | |
|----|-------|---|
| 37 | 4,698 | Chemins de fer méridionaux (réseau adriatique), à Florence. |
| 38 | 414 | — Sardes, à Rome. |
| 39 | 4,333 | Chemin de fer de la Méditerranée, à Milan. |

XII. — Espagne.

| | | |
|----|-------|---|
| 40 | 2,671 | Chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Madrid. |
| 41 | 883 | Chemins de fer andalous, à Malaga. |
| 42 | 115 | Chemin de fer de San-Juan de las Abadesas, à Barcelone. |

XIII. — France.

| | | |
|----|-------|--|
| 43 | 4,255 | Chemin de fer de l'Ouest, à Paris. |
| 44 | 2,504 | Chemins de fer de l'État, à Paris. |
| 45 | 8,362 | Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, à Paris. |
| 46 | 4,284 | — de l'Est, à Paris. |
| 47 | 130 | — du département des Bouches-du-Rhône, à Paris. |

XIV. — Luxembourg.

| | | |
|----|-----|--|
| 48 | 148 | Chemin de fer du Prince-Henri, à Luxembourg. |
|----|-----|--|

XV. — Belgique.

| | | |
|----|-------|--|
| 49 | 3,191 | Chemin de fer de l'État, à Bruxelles. |
| 50 | 47 | — de Gand-Eecloo-Bruges, à Bruges. |
| 51 | 21 | — de Termonde à Saint-Nicolas, à Termonde. |
| 52 | 29 | — de Liège à Maestricht, à Liège. |
| 53 | 49 | — d'Anvers à Gand, à Saint-Nicolas. |
| 54 | 41 | — de Hasselt à Maeseyck, à Maeseyck. |
| 55 | 60 | — de Chimay, à Chimay. |

XVI. — Pays-Bas.

| Numéro. | Longueur en kilomètres. | |
|---------|----------------------------|--|
| 56 | 571 | Chemin de fer hollandais, à Amsterdam. |
| 57 | 249 | — rhénan-néerlandais, à Utrecht. |
| 58 | 1,427 | — de l'État néerlandais, à Utrecht. |
| 59 | 101 | — Brabant septentrional-allemand, à Gennepe. |

XVII. — Grande-Bretagne et Irlande.

| | | |
|----|-------|------------------------------------|
| 60 | 3,907 | Great Western Railway, à Londres. |
| 61 | 3,419 | Midland Railway, à Derby. |
| 62 | 1,265 | Great Northern Railway, à Londres. |

Pour la facilité du classement, j'ai arrangé les réponses des Administrations par pays, de manière à commencer par les pays orientaux, possédant la superstructure la plus faible, et à terminer par les pays occidentaux, ayant la superstructure la plus forte.

Pour éviter la répétition fréquente du titre des diverses Administrations, je leur ai donné des numéros d'ordre, que je me suis borné à rappeler dans les réponses.

En outre, à côté de ce numéro d'ordre, j'ai indiqué pour chaque Administration le nombre de kilomètres de lignes exploitées par elle, de sorte qu'il sera possible d'apprécier à quelle sphère d'activité se rapporte l'expérience qu'elle a acquise.

Nous allons discuter chaque question subsidiaire, dans l'ordre où elle se présente, en indiquant les réponses importantes et détaillées; nous donnerons ensuite la conclusion que d'après nous il est possible d'en tirer.

RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE DÉTAILLÉ.

QUESTION 1.

*Quel mode d'attaches employez-vous sur vos voies à grande circulation?
Joindre à votre rapport les dessins des différentes attaches employées.*

Les crampons à section carrée sont employés par toutes les Administrations des groupes : I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, 40, 41, XIII, 44, 47, XIV, XV, 49, 50, 51, 52, 54, XVI.

Les crampons de ces Administrations ont en général la forme ordinaire à section carrée, à taillant large en forme de coin et avec ergots d'enlèvement placés, soit des deux côtés de la tête, soit derrière la tête.

Les Administrations du nord-est de l'Europe se servent de crampons d'une longueur allant jusqu'à 230 millimètres.

Ces longs crampons ne sont employés la plupart du temps que pour le calage des rails sur les traverses, nécessité par les boursouflures produites par la gelée, les crampons d'une longueur ordinaire ayant alors trop peu de prise dans la traverse.

Une autre variété de crampons est le crampon octogone à pointe conique émoussée, adopté autrefois par le chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

Ce crampon, qui exige le forage d'avance de la traverse, est en usage chez les Administrations suivantes : n^{os} 12, 14, 27, 33, 34, 35, 36, 39, 47 et 48.

Les Administrations ci-après font usage de tire-fond, à savoir : n^{os} 24, 26, 27, 30, 34, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 55, 57, 58.

QUESTION 2.

Quelles espèces de bois sont employées pour les traverses en bois?

A l'exception des groupes I (Russie), V (Suède), VI (Norvège), VII (Danemark), toutes les Administrations de chemins de fer emploient soit sans exception, soit en partie avec d'autres essences, du bois de chêne pour les traverses, et la majorité des Administrations créosote ces billes.

Le hêtre est employé par les n^{os} 13, 28, 29, 30, 31, 32, 43, 46 et est imprégné presque sans exception de créosote, de chlorure de zinc ou de sulfate de cuivre.

Le mélèze est en usage chez les n^{os} 29, 32, 34, 36; le bois de pin et de sapin est employé par les Administrations des groupes I, V, VI, VII, VIII, IX, 28, 29, 32, 33, 35, 36, 41, 43, 44, 46, 47, 56, 58, 59, 60.

En résumé, on se sert principalement dans les pays du Nord-Est des essences indigènes de conifères, qui suffisent parfaitement pour les faibles trafics; par contre, les Administrations des pays méridionaux donnent la préférence au bois de chêne.

Le hêtre et le mélèze ont été peu employés jusqu'à ce jour.

Dans ces derniers temps, on a rejeté partout le bois de sapin.

Sur les lignes à faible trafic, les traverses en bois de pin imprégné ont donné une durée plus longue que les traverses de chêne non imprégnées.

QUESTION 3.

Quel pour-cent des traverses en bois vous faut-il renouveler par an pour cause de destruction mécanique?

En général, peu d'Administrations ont répondu d'une manière approfondie à cette question.

La destruction des traverses atteint globalement le chiffre de 25 p. c. par an pour les traverses tendres non imprégnées et de 2 à 8 p. c. par an pour celles imprégnées; pour les traverses en chêne non imprégnées, 15 p. c.; pour celles imprégnées, 0.25 à 7 p. c.

Il faut attribuer à la destruction mécanique pour les bois tendres 10 p. c. des billes remplacées et pour les bois durs 1 à 40 p. c.

Les Administrations suivantes ont répondu en détail :

(2). — *La Grande Société des chemins de fer russes*. (Traverses de pin non imprégnées.) — Le nombre de traverses qui ont souffert de la destruction mécanique des fibres du bois n'a pas dépassé, jusqu'à ce jour, 30,000 par an, soit 1.04 p. c. de notre effectif total :

a) Le remplacement annuel total s'élève à 18.9 p. c. de l'effectif;

b) Sur les lignes principales, le remplacement pour destruction mécanique des fibres de bois atteint 1.3 p. c.

(7). — *Chemin de fer Dunabourg-Witebsk*. (Bois de pin non imprégné.) — Comme, pendant les mois d'hiver, il se produit sur ce chemin de fer des boursouffures de gelée de 5 à 13 centimètres de hauteur, il y a annuellement 3 p. c. des traverses mises hors d'usage pour destruction mécanique.

(8). — *Chemin de fer Riazan-Koslow*. (Pin imprégné depuis 1882.) — Pendant un espace de huit ans, on a remplacé :

80 p. c. par suite de destruction mécanique;

20 p. c. par suite de pourriture.

(12). — *Chemins de fer de l'État roumain*. (Chêne non imprégné.) — Ce chemin renouvelle par an, pour cause de destruction mécanique, 2 p. c. environ.

Le renouvellement annuel, pour toute cause en général, est de 12.9 p. c. de la totalité des traverses.

De ce nombre, 2 p. c. environ représentent le renouvellement par destruction mécanique.

(26). — *Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand.* (Chêne imprégné.) Sur les traverses défectueuses, on en remplace annuellement 14.65 p. c., soit 1/7, pour cause de destruction mécanique et, comme le remplacement total est d'environ 4.3 p. c. par an, il y a par an à remplacer pour destruction mécanique 0.65 p. c. de l'effectif total.

(33). — *Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et jonction Sud-Nord allemande.* — Pendant l'espace de onze ans, on a remplacé 2.81 p. c. des traverses en chêne imprégné, dont 39.2 p. c. par suite de destruction mécanique, ce qui donne, par an, 0.25 p. c. en tout et 0.01 pour destruction mécanique.

En fait de traverses en bois de pin imprégné, on en a remplacé, après douze ans, 42.99 p. c., dont 61 p. c. pour destruction mécanique; ce qui fait, par an, 3.6 p. c. en tout et 0.22 pour destruction mécanique.

(49). — *Chemins de fer de l'État belge.* — Depuis l'emploi des billes érésotées, aucune traverse ne doit être mise au rebut pour cause de pourriture; elles périssent toutes par usure mécanique, ou bien parce qu'il faut les saboter à nouveau quand l'entaille n'est plus en bon état.

Leur durée en voie principale très parcourue est de dix ans, mais un bon nombre d'entre elles sont réemployables ensuite dans les voies principales secondaires.

QUESTION 4.

Quelle influence a l'emploi des plaques d'appui en fer :

a) *Sur la durée des traverses en bois ;*

b) *Sur la conservation de la largeur normale de voie ?*

Sept Administrations seulement, la plupart à faible trafic, ne font pas usage de plaques d'appui; toutes les autres Administrations se prononcent très favorablement au sujet de l'emploi des plaques d'appui.

- La question a été traitée en détail par les Administrations suivantes :

(7). — *Chemin de fer Dunabourg-Vitebsk.* — L'influence qu'exerce l'emploi de la plaque d'appui en fer est en général bienfaisante :

a) La durée de la traverse est augmentée, parce que la base des rails ne peut entailler les traverses, par suite du poids des trains circulant sur la voie, ce qui en empêche la destruction prématurée ;

b) L'écartement de la voie peut mieux se maintenir, le rail se trouvant mieux fixé sur la traverse, grâce à la plaque d'appui.

(8). — *Chemin de fer Riazan-Koslow.* — Ce chemin de fer se prononce dans le même sens et fait remarquer que, par l'emploi des plaques d'appui, on n'a besoin que de la moitié des crampons comparativement aux rails sans plaques d'appui.

(9). — *Chemin de fer Ivangorod-Dombrovo.* — L'emploi des plaques d'appui présente les avantages suivants :

a) L'emploi influe sur la durée des traverses en bois, en l'augmentant, parce qu'il présente une plus grande surface à l'action des forces sollicitantes (pression), ce qui empêche et diminue la tendance du rail à pénétrer dans la traverse ;

b) L'emploi des plaques d'appui influe aussi sur la conservation de la largeur normale de la voie d'une manière positive, surtout dans les courbes.

(24). — *Chemin de fer Lübeck-Büchen.* — a) Influence très avantageuse, attendu que la traverse en bois de pin se détruit beaucoup plus vite par la forte entaille des rails au point d'appui que par la pourriture.

(26). — *Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand.* — a) L'emploi des plaques d'appui en fer sur les traverses protège ces dernières contre une destruction mécanique prématurée en agrandissant la surface de pression : on empêche que le patin du rail n'entaille la surface supérieure de la traverse, on évite de devoir redresser aussi souvent cette dernière et de devoir rechasser les clous, et l'on prolonge ainsi efficacement la durée des traverses ;

b) La conservation de l'écartement des rails dans la superstructure à traverses en bois repose sur la résistance des crampons de rails contre les poussées latérales.

Les plaques d'appui en fer à rebords non seulement présentent une plus forte

résistance contre le déplacement latéral des rails, mais encore protègent les crampons contre l'entaille inévitable du patin du rail, parce que les crampons ont une plus grande stabilité et que les oscillations verticales et le mouvement horizontal des rails sont diminués. L'emploi des plaques d'appui en fer favorise donc le maintien de l'écartement des rails.

(36). — *Chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon.* — Ce chemin de fer a successivement généralisé l'emploi des selles ou plaques d'appui (*Unterlagsplatten*) parce qu'il a constaté qu'elles contribuaient beaucoup à l'augmentation de la durée des traverses en bois et à la conservation de la largeur normale de la voie.

(37). — *Chemins de fer méridionaux italiens.* — L'emploi des plaques d'appui augmente la durée des traverses en distribuant mieux les pressions exercées sur elles par les rails ; il maintient mieux l'écartement normal de la voie en rendant solidaires les attaches placées de part et d'autre du rail, de manière que toutes ensemble résistent aux efforts latéraux.

(45). — *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.* — Ce chemin de fer estime que la selle en acier augmente la durée de la traverse en ralentissant son entaillage sous le patin du rail et qu'elle maintient l'écartement de la voie.

(49). — *Chemins de fer de l'État belge.* — Depuis quelques années, ce chemin de fer emploie des plaques ou platines en fer ou en acier sur toutes les traverses des lignes à grande circulation aussi bien en courbe qu'en alignement.

Il estime que l'emploi de ces plaques contribue efficacement à empêcher le déversement du rail et, par suite, les changements de largeur de la voie.

Il est certain que ces plaques augmentent la durée de la traverse, mais il ne peut dire dans quelle proportion.

(50). — *Chemin de fer Gand-Eecloo-Bruges.* — La plaque en fer empêche le patin du rail d'abîmer l'entaille de la traverse en bois.

Elle donne au rail la stabilité voulue pour son inclinaison.

La durée de la traverse armée de plaques peut être évaluée à un tiers en plus.

La plaque en fer rend les deux crampons solidaires.

Elle enserre le patin du rail et empêche la voie de s'élargir du côté du grand rayon, dans les courbes.

Dans les courbes à petit rayon, une voie sans plaques s'élargirait facilement, même si elle était posée sur de bonnes traverses en bois.

Plusieurs Administrations, telles que le chemin de fer de l'État belge, le chemin de fer Nord-Ouest autrichien et d'autres emploient sur leurs lignes à grand trafic deux plaques d'appui sur chacune des traverses, tant dans les courbes que dans l'alignement.

En résumé, la grande majorité des Administrations recommande donc l'emploi général des plaques d'appui.

QUESTION 5.

Quel pour-cent des plaques d'appui vous faut-il renouveler par an, pour cause de bris :

- a) *Des plaques de fer soudé;*
- b) *Des plaques d'acier doux?*

Vingt-cinq Administrations ont répondu par des chiffres; vingt et une Administrations ont des bris annuels de leurs plaques en fer soudé atteignant 8.1 p. c. de leur effectif total.

Les pour-cent élevés se sont produits surtout dans les plaques à deux trous, trop faibles, et par suite de l'ouverture des joints de soudure aux côtés intérieurs des rebords des plaques; pour les plaques en acier, peu d'Administrations signalent des pour-cent de bris; la plupart déclarent ne pas avoir constaté de bris. Les Administrations suivantes parlent en détail de la chose :

Le Ministère des voies et communications de Russie (M. W. Werchowsky). On donnait auparavant aux plaques d'appui l'épaisseur de 5 à 7 millimètres.

Par suite de la grande quantité de leur bris, on s'est trouvé obligé de les remplacer par d'autres ayant l'épaisseur de 10 à 12 millimètres, qui paraît être suffisante.

(24). — *Chemin de fer Lübeck-Büchen.* — Les plaques d'appui en fer soudé

d'une épaisseur de 8 et de 10 millimètres n'ont pas résisté. On emploie maintenant des plaques d'appui en fer fondu d'une épaisseur de 12 millimètres.

(49). — *Chemins de fer de l'État belge.* — Depuis que ce chemin de fer emploie des plaques en acier, il n'a plus de bris de plaques d'appui. Anciennement, ses plaques de joint, laminées parallèlement au rail, se brisaient fréquemment au-dessous du patin.

(58). — *Chemins de fer de l'État néerlandais.* — Les plaques profilées en fer (*nervenik*), employées autrefois, se fendaient dans le sens du laminage; les selles en acier tendre actuelles ne se fendent presque pas.

En résumé, les plaques d'appui (*sellettes*) en acier doux, ayant au moins trois trous et une épaisseur minimum de 10 millimètres, avec des rebords d'une forme propre à recevoir la poussée du patin et à retenir les têtes des crampons ou tire-fond dans leur juste position, augmentent très efficacement la stabilité de la superstructure.

QUESTION 6.

Quel modèle de crampons employez-vous ?

On a déjà répondu en partie à cette question à propos de la question 1.
Des observations spéciales ont été faites par les chemins de fer ci-après :

(45). — *Paris-Lyon-Méditerranée.* — Ce chemin de fer a renoncé à l'emploi du crampon.

(46). — *Chemins de fer de l'Est.* — Avant 1861, ce chemin de fer employait le crampon. Depuis cette époque, les crampons sont abandonnés.

Ces deux Administrations ont renoncé à l'emploi des crampons et n'emploient plus que des tire-fond.

QUESTION 7.

Les traverses en bois sont-elles forcées avant d'enfoncer les crampons ?

A cette question, dix-huit Administrations ont répondu sans réserve par *non* et vingt-six Administrations sans restriction par *oui*.

Sept Administrations ne forent d'avance que les traverses dures et non les tendres.

Aucune Administration n'a fait d'observation spéciale.

En résumé, la grande majorité des Administrations fait forer les traverses d'avance.

QUESTION 8.

Quel pour-cent des crampons vous faut-il renouveler par an pour cause de bris ou pour cause d'usure?

Quarante et une Administrations ont indiqué leur rapport en coefficient de renouvellement qui s'élève jusqu'à 11 p. c. par an.

Des observations spéciales ont été faites par les Administrations ci-après :

(35). — *Chemin de fer du Gothard*. — Sur les lignes en plein air, l'usure des crampons est très faible et l'on n'y procède donc que rarement au renouvellement; dans les longs tunnels à mauvais aérage, dans les endroits humides et dans les fortes courbes, les crampons octogones souffrent beaucoup de la rouille et de l'entaille du patin du rail. Sur ces lignes, on procède au reclouage avec des crampons carrés d'une épaisseur de 20/20 millimètres.

(58). — *Chemins de fer de l'État néerlandais*. — Le nombre de crampons qui cassent est devenu insignifiant depuis l'application d'un perfectionnement dans le poinçonnage des têtes, permettant de donner au nerf du fer la position convenable.

Fig. 1. — Autrefois.

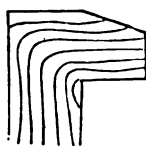


Fig. 2. — Actuellement.



L'usure du crampon par le patin de rail est considérable surtout dans les courbes.

En résumé, la proportion anormale de crampons hors d'usage provient en partie du bris des têtes au moment où l'on retire les crampons, en partie de l'usure provoquée par le patin des rails.

Dans ces derniers temps, on a employé souvent avec succès de l'acier doux pour la fabrication des crampons.

QUESTION 9.

Quel modèle de tire-fond employez-vous ?

Vingt Administrations emploient des tire-fond ; on a fait les observations spéciales ci-après :

(30). — *Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État.* — Pour les tire-fond, une section allongée de la partie supérieure est préférable à une section carrée, à cause de la résistance plus grande contre l'usure des rebords pour le vissage et le dévissage à l'aide de la clef.

(56). — *Compagnie des chemins de fer hollandais.* — Ce chemin de fer ne s'en sert pas du tout. Comme curiosité historique, il signale qu'anciennement, de 1840 à 1864, il a employé des vis à bois comme moyen d'attache des rails Brunel sur des longrines.

Quelques déraillements s'étant produits les uns après les autres, on a nommé en 1852 une commission d'État qui a rejeté les vis à bois comme insuffisantes. Elle signalait que ces vis se relâchaient par suite des chocs et de la destruction du bois et ne pouvaient plus être serrées ensuite à cause de la rouille et de l'élargissement du trou. La commission a conseillé l'emploi de crampons.

En résumé, en général, les tire-fond ont un corps d'une longueur de 70 à 140 millimètres, un diamètre maximum de 19 à 23 millimètres, qui se réduit le plus souvent de 1 millimètre contre le bout du filet, et ils ont un pas de vis d'une hauteur de 7 à 10 millimètres.

Il y a lieu de remarquer le tire-fond du n° 58 (chemin de fer de l'État néerlandais). Celui-ci a un corps d'une longueur de 150 millimètres, un diamètre de 23 millimètres et un pas de vis d'une hauteur de 10 millimètres. (Fig. 13.)

Cette Administration ainsi que le n° 49 (chemins de fer de l'État belge) ont adopté cette disposition favorable que la tête du tire-fond avec sa partie inférieure conique repose d'une part sur le patin du rail, de l'autre côté sur le rebord de même hauteur de la plaque d'appui, ce qui évite autant que possible le courbement latéral de la tête du tire-fond.

Des détails sont encore donnés au sujet de ces deux dispositions à propos de la question 14.

QUESTION 10.

Quel pour-cent des tire-fond vous faut-il renouveler par an pour cause de bris ou pour cause d'usure?

Les données des Administrations oscillent entre 0.48 et 4 p. c. par an.

QUESTION 11.

A quelles attaches donnez-vous la préférence : aux crampons ou aux tire-fond? Et à quelle place de la voie (bilatéralement aux rails, latéralement, intérieurement ou extérieurement) les mettez-vous?

Les dix Administrations portant les numéros 24, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47 et 57 préfèrent sans réserve le tire-fond au crampon.

Les six Administrations nos 4, 26, 30, 34, 49 et 52 ne le préfèrent que conditionnellement.

A propos de cette question, les avis sont si partagés qu'il semble nécessaire de les signaler.

M. W. Werchowsky. — Les opinions sur la préférence à donner aux crampons ou aux tire-fond ne sont pas encore éclaircies.

Il paraît que les tire-fond présentent beaucoup de difficultés à l'entretien de la voie en cas de soufflures, qui sont très nombreuses pendant les gelées d'hiver sur les terrains argileux et humides. Outre cela, on doit leur donner la préférence notamment à l'intérieur de la voie, car du côté extérieur, les crampons peuvent aussi bien suffire contre la pression latérale, pourvu qu'on emploie les plaques d'appui avec rebords.

(2). — *Grande Société des chemins de fer russes.* — Ce chemin de fer préfère les crampons aux tire-fond, car :

1° Il emploie des traverses de bois tendre, que les crampons ne fendent pas et dans lequel ils se maintiennent solidement;

2° Les crampons peuvent s'ôter plus facilement pour les régularisations de la voie que les tire-fond, qui exigent plus de temps pour le dévissage;

3° Le dévissage des tire-fond ne peut se faire sans endommager les traverses, lorsque, comme cela arrive souvent, la tête se brise;

4° Les crampons attachent fort bien les rails sur les traverses de pin et reviennent à meilleur marché.

(4). — *Chemin de fer Libau-Romny*. — En employant des traverses exclusivement de bois de pin sylvestre, il faut donner la préférence aux crampons; dans les cas où les traverses s'emploient en bois de chêne ou en bois imprégné, les tire-fond employés intérieurement sont préférables.

(26). — *Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand*. — Pour fixer les rails sur les traverses à l'intérieur de la voie, les tire-fond méritent la préférence. Pour attacher les rails à l'extérieur, les crampons sont préférables, parce qu'ils facilitent le renouvellement des rails.

(30). — *Compagnie austro-hongroise des chemins de fer de l'Etat*. — Ce chemin de fer estime que l'emploi des tire-fond et des crampons indiqué à la question subsidiaire n° 1 est justifié, parce qu'à l'extérieur de la voie, le crampon placé à l'extérieur du patin du rail résiste mieux, grâce à sa section carrée — tant sous le rapport de la rigidité que de la pénétration dans les fibres du bois — que le tire-fond à section ronde et petite. Celui-ci rend néanmoins, d'après l'expérience acquise, les meilleurs services contre la tendance au déversement des rails à l'intérieur de la voie du côté extérieur du patin du rail, en maintenant plus solidement le côté intérieur et en offrant une plus grande résistance contre le relâchement successif provoqué par le mouvement ondulatoire des rails à la suite du passage des charges.

(34). — *Chemin de fer Jura-Berne-Lucerne*. — Pour les traverses en bois dur, on emploie les crampons comme les tire-fond; ces deux moyens d'attache ont donné de bons résultats.

Pour les traverses en bois tendre, il faut préférer les tire-fond, à cause de leur plus grande stabilité. A l'intérieur du patin du rail, on emploie pour les traverses en chêne tantôt deux tire-fond, tantôt deux crampons, et pour les traverses en bois tendre, toujours des tire-fond.

A l'extérieur du patin du rail, on n'a fait usage dans ces dernières années que de

crampons. Ce système donne plus de célérité et de facilité pour le renouvellement des rails.

(41). — *Chemins de fer andalous.* — Ce chemin de fer donne la préférence aux crampons et les emploie exclusivement partout, à cause de la nature du bois de ses traverses et surtout de la plus grande facilité des réparations dans ses nombreuses courbes de petit rayon.

(43). — *Chemins de fer de l'Ouest.* — Les tire-fond paraissent à ce chemin de fer être préférables aux crampons, mais ils sont encore, d'après lui, un moyen d'attache insuffisant sans les coussinets, dont il tend à multiplier l'emploi sur les lignes qui sont fatiguées, ou dont le profil et le tracé en plan sont très accidentés.

(51). — *Chemin de fer Liège-Maastricht.* — Au chemin de fer Liège-Maastricht, on a fait usage successivement de ces deux systèmes d'attache.

Le tire-fond a résisté plus longtemps que le crampon dans des traverses ayant déjà séjourné un assez grand nombre d'années dans les voies; le tire-fond a aussi, sur le crampon, l'avantage que dans les cas de réfection de voies, par exemple lorsque les traverses, après avoir été retirées, peuvent servir encore de traverses *de emploi*, le tire-fond peut être remplacé une seconde fois et même une troisième fois, dans le même trou foré la première fois dans la traverse, tandis que le crampon doit être, à chaque déplacement de la traverse, chassé dans un trou nouveau, ce qui ne permet guère plus d'un déplacement utile de la traverse.

D'un autre côté, le tire-fond empêche moins que le crampon le glissement longitudinal des rails sur les traverses qui tend à se produire, comme on sait, sur les lignes à double voie; le crampon ayant une section transversale *carrée*, comme l'encoche du patin du rail, arrête mieux le rail dans le mouvement qu'il tend à prendre dans le sens de la direction du train, que le tire-fond, qui a une section *circulaire* et sur lequel l'encoche du rail glisse sans trouver la résistance nécessaire.

Ce chemin de fer pense, par conséquent, que le crampon est préférable au tire-fond pour les lignes à *double* voie.

Dans l'un et l'autre cas, les plaques d'about sont nécessaires, et les plaques intermédiaires sont à recommander, parce qu'elles empêchent le crampon, ou le tire-fond, de s'écarter du rail.

En résumé, il résulte de ce qui précède que :

- a) Dans les pays à forte gelée, le tire-fond n'est pas à recommander à cause des soufflures occasionnées par la gelée;
- b) Les crampons empêchent mieux le glissement des rails que les tire-fond;
- c) Du côté extérieur des rails, les crampons, quoiqu'ils soient moins chers, rendent cependant les mêmes services que les tire-fond;
- d) A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent plus de résistance que les crampons.

QUESTION 12.

Quelle expérience avez-vous acquise sur la résistance des attaches (soit crampons, soit tire-fond) à l'arrachement (dans le sens de leur axe) hors de la traverse, causé par la pression latérale du matériel roulant sur les rails ?

Pour élucider cette question, j'expose les observations essentielles des Administrations qui ont expérimenté ces deux moyens d'attaches.

Ce sont :

M. W. Werchowsky. — La pratique démontre qu'en cas d'accident de trains, les crampons sont toujours arrachés, tandis que sur la ligne de Noworossiysk plusieurs déraillements ont eu lieu sans avoir occasionné l'élargissement de la voie.

(26). — *Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand.* — Les expériences faites ont prouvé en général une plus grande stabilité pour les tire-fond que pour les crampons.

(30). — *Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État.* — La résistance à l'arrachement est de deux espèces :

a) La résistance au desserrage successif des crampons et des tire-fond à la suite de l'oscillation des rails au passage du matériel roulant et surtout des lourdes machines des trains express, et

b) La résistance à l'enlèvement intentionnel à l'aide d'outils.

La résistance spécifiée sous a) est beaucoup plus grande pour les tire-fond en traverses saines que pour les crampons, qui, par suite de leur desserrage, doivent

souvent être rechassés, tandis que le resserrage des tire-fond est beaucoup plus rarement nécessaire.

Il va de soi qu'en cas de desserrage de plus en plus grand des crampons, les vieux trous doivent, après l'enlèvement des crampons, être rebouchés et reforés à neuf, ou bien il faut les reclouer à nouveau en utilisant les trous de réserve des plaques.

Quant à l'arrachement par outils indiqué sous *b*), les tire-fond présentent aussi dans les traverses saines plus de résistance que les crampons, qui peuvent être enlevés sans difficulté spéciale par le pied de chèvre ou la tenaille Noot, tandis que pour dévisser les tire-fond avec la clef *ad hoc*, il faut dans la plupart des cas deux ouvriers, ce qui demande une grande dépense de force et ce qui provoque souvent la torsion du tire-fond et même de la clef.

(34). — *Chemin de fer Jura-Berne-Lucerne*. — Ce chemin de fer n'a pas fait d'expériences au sujet de la résistance à l'arrachement des deux moyens d'attache en question.

Par contre, il a constaté sur ses voies que les tire-fond se desserrent moins que les crampons, du moins dans les traverses en bois tendre.

Depuis l'introduction des tire-fond et des plaques d'appui, l'entretien du ballast des voies exige beaucoup moins de temps que jadis.

(40). — *Chemins de fer du Nord de l'Espagne*. — Dans une traverse en moyen état, le tire-fond est supérieur au crampon comme résistance à l'arrachement.

(42). — *Chemin de fer et Mines de San-Juan de las Abadesas*. — La pression latérale exercée par le mouvement du matériel roulant sur les rails arrache beaucoup plus facilement des traverses les crampons que les tire-fond.

L'avantage offert par les tire-fond est encore beaucoup plus grand dans les courbes, à mesure que le rayon diminue : ainsi, dans les courbes d'un rayon de 300 à 500 mètres, les crampons de la voie extérieure de la courbe se desserrent notablement, tandis qu'en général, quand les traverses sont maintenues en bon état, les tire-fond se cassent plutôt à la tête que de se desserrer.

Pour remédier à cet inconvénient, la pose de plaques d'appui dans la traverse sur la moitié de la longueur du rail donne de très bons résultats.

(46). — *Chemin de fer de l'Est*. — Ce chemin de fer n'a pas de résultats

d'expériences comparatives sur la résistance des crampons et des tire-fond; mais il a constaté que ceux-ci ont une résistance bien supérieure aussi bien à la traction suivant leur axe qu'à la poussée latérale.

Ils ne se desserrent que fort peu et ne sont jamais lâches comme les crampons, même lorsque le temps devient brusquement chaud et sec.

(58). — *Chemins de fer de l'État néerlandais*. — Les tire-fond tiennent mieux que les crampons.

En résumé, par suite des réponses à la question 11, on voit que les Administrations qui emploient ou ont employé les deux moyens d'attaches, les crampons et les tire-fond, trouvent la résistance contre l'arrachement des tire-fond plus grande que celle des crampons.

QUESTION 13.

Quelle relation recommandez-vous entre la largeur du patin et la hauteur des rails Vignoles?

Le rapport moyen de la largeur du patin à la hauteur du rail est de 85 p. c. en prenant toutes les Administrations globalement. (Voir tableau annexe.)

Les Administrations suivantes s'étendent plus longuement sur la question.

(12). — *Chemins de fer roumains*. — Cette Administration préfère le rapport de 95 p. c. entre la largeur du patin du rail et la hauteur de celui-ci, pour que la tendance au renversement du rail soit mieux combattue.

(29). — *Südbahn*. — Dans le dernier système, la hauteur du rail est de 128 millimètres, ce qui correspond, pour le rapport entre la hauteur et la largeur, à la proportion de 1 : 0.82, qui en pratique donne de bons résultats.

(33). — *Chemin de fer Nord-Ouest autrichien*. — Sur les lignes de ce réseau, il y a sur des traverses en bois des rails d'une hauteur de 125 millimètres, sur une largeur de 104 millimètres pour le patin; la proportion est donc de 1 : 0.83.

Comme, dans toutes ses lignes à fort trafic, il emploie sur chaque traverse deux

plaques d'appui ordinaires, et dans ses fortes courbes des plaques d'appui à résistance très grande (voir la question n° 14), la largeur du patin de ses rails s'est montrée partout complètement suffisante.

(34). — *Chemin de fer Jura-Berne-Lucerne*. — Le nouveau profil 1889 de ce chemin de fer a une hauteur de 132 millimètres et un patin d'une largeur de 100 millimètres; la proportion est donc de $\frac{132}{100} = 1.32$ (76 p. c.).

Si des considérations concernant le stock d'éclisses et de plaques ne l'avaient conduit à garder pour le patin la largeur de 100 millimètres, il eût choisi pour ce nouveau profil un patin d'une largeur de 110 millimètres, répondant à la proportion $\frac{132}{110} = 1.2$ (0.83 p. c.).

(39). — *Chemins de fer italiens de la Méditerranée*. — Cette Administration croit que la meilleure proportion des bons rails à patin est que la largeur du patin égale la hauteur du rail.

(43). — *Chemin de fer de l'Ouest*. — Le rail Vignoles employé sur une partie de ce réseau a 97 millimètres de largeur au patin pour une hauteur de 125 millimètres.

Cette largeur est insuffisante, et bien qu'il ait renoncé complètement à l'emploi du rail Vignoles, il estime que la largeur du patin devrait être au moins égale à la hauteur du rail.

(45). — *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée*. — Les trois types de rails adoptés donnent les rapports suivants :

| | |
|--------------------|---|
| P.-L.-M.A. | $\frac{1.30}{1.00} = 1.30$ (77 p. c.). |
| P. M. | $\frac{1.30}{1.30} = 1.00$ (100 p. c.). |
| L. P. | $\frac{1.42}{1.30} = 1.10$ (91 p. c.). |

Les derniers types conviennent aux voies de grand trafic.

(49). — *Chemins de fer de l'État belge*. — L'ancien profil de 38 kilogrammes avait 105 de base pour 125 de hauteur. Bien que cette proportion n'ait

pas donné lieu à de sérieux inconvénients, on a adopté une proportion plus forte (135 sur 145) = 93 p. c. pour le rail de 52 kilogrammes.

La base égale à la hauteur paraît une proportion désirable, mais les nécessités de l'éclissage demandent l'augmentation de la hauteur afin d'obtenir des éclisses très résistantes et des boulons de fort diamètre, en rapport avec la résistance du profil.

(46). — *Chemin de fer de l'Est.* — Les rails d'acier de 30 kilogrammes, en usage sur la plus grande partie du réseau, ont 99 millimètres de largeur de patin et 120 millimètres de hauteur, comme les rails en fer qu'ils ont remplacés; le rapport de la largeur à la hauteur est donc 0.825. Sur les parties où la circulation est exceptionnelle, ce chemin de fer va employer des rails pesant 44 kilogrammes le mètre courant, ayant 130 millimètres de largeur de patin et 141 millimètres de hauteur; le rapport est de 0.902.

Il considère ce dernier rapport comme tout à fait favorable à la stabilité du rail; mais celui de 0.825 a été reconnu suffisant dans la plupart des cas. La plus grande largeur donnée au patin des nouveaux rails a aussi l'avantage de réduire la pression par unité de surface sur les traverses.

(50). — *Chemin de fer d'Eecloo à Gand.* — D'après l'avis de cette Administration, la largeur du patin des rails Vignoles devrait être égale à la hauteur du rail.

Cette proportionnalité lui semble la plus recommandable pour les lignes à grande circulation ou fatiguées.

En résumé, d'après ce qui précède, on recommande pour un très grand trafic une proportion de 90 : 100, et même de 100 : 100 dans certains cas, entre la largeur du patin et la hauteur des rails.

Pour cette dernière proportion, il y a des difficultés à l'égard du laminage et de l'éclissage des rails.

D'un autre côté, on fait remarquer, de diverses parts, que pour les trafics plus faibles ou pour les voies munies d'un moyen d'attaches plus solide, tel que celui dont il est parlé dans la question 14, la relation moyenne actuelle de 85 : 100 est suffisante.

QUESTION 14.

En dehors des crampons et tire-fond, employez-vous d'autres et de plus forts modes d'attaches pour fixer le rail Vignoles sur la traverse en bois? Quels sont-ils et quels résultats donnent-ils?

A cette question, les Administrations suivantes ont donné des réponses spéciales. (Voir les plans ci-joints.)

(33). — *Chemin de fer Nord-Ouest autrichien.* — Dans les courbes d'un rayon de moins de 500 mètres, cette Administration se sert des plaques d'appui système Hohenegger, représentées ci-dessous. Ces plaques d'appui ont tous les avantages des coussinets de la voie à double champignon, sans marteler le rail. Ces plaques ont été posées pour la première fois en 1885, et à la fin 1888 il y en avait 34,615 pièces placées dans les voies. Le résultat est excellent, puisque dans les parties munies de ces plaques l'écartement des rails reste extrêmement rigide et qu'on n'a dû nulle part le régulariser jusqu'à présent. (Figures 3 et 4.)

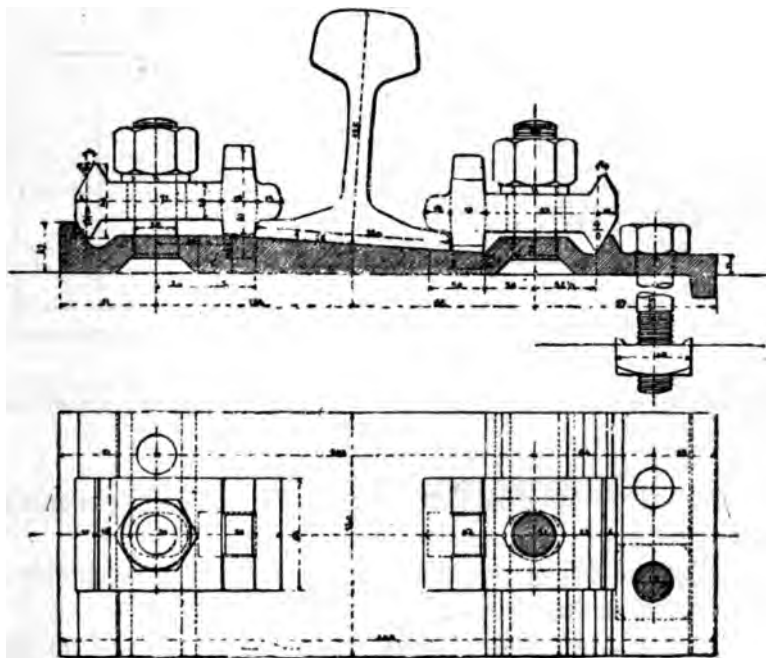


Fig. 3 et 4. — Plaque de serrage du chemin de fer Nord-Ouest autrichien.

9 mètres. Les rails munis de ces attaches ne sont pas encore mis en œuvre. (Fig. 10.)

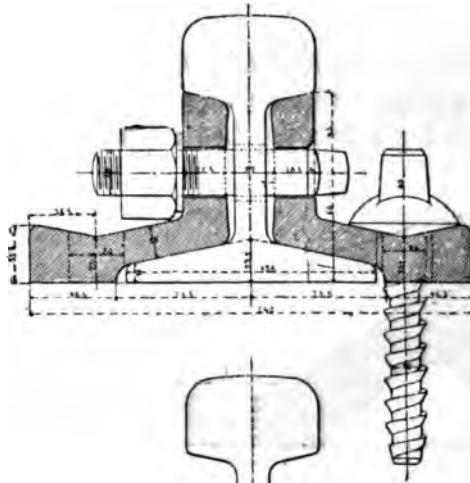


Fig. 9. — Éclisse-cornière et tire-fond des chemins de fer de l'État belge.

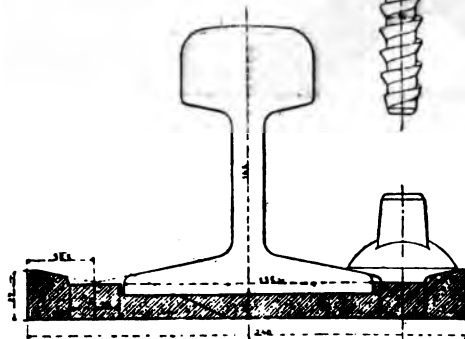


Fig. 10. — Selle et tire-fond des chemins de fer de l'État belge.

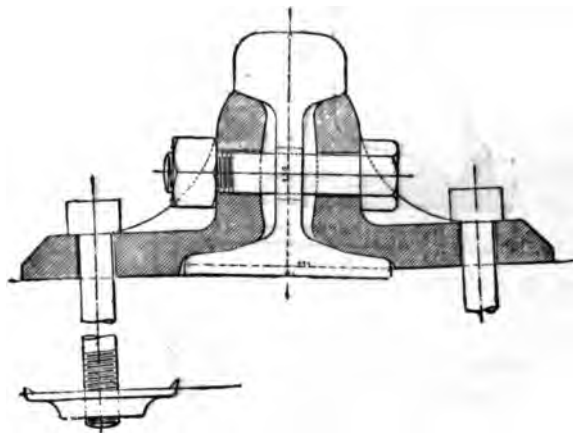


Fig. 11. — Cousinets doublés et boulons du chemin de fer Rhénan-Néerlandais.

(57). — *Chemin de fer Rhénan-Néerlandais*. — Pour les courbes à petit rayon, comme pour les croisements des stations, on emploie des coussinets en fer fondu, fixés avec des boulons. (Fig. 11.)

(58). — *Chemin de fer de l'État néerlandais*. — En courbes à très petit rayon (exception), on applique à l'extérieur des rails des coussinets en fonte représentés par la figure 12. Il y a deux tire-fond par coussinet.

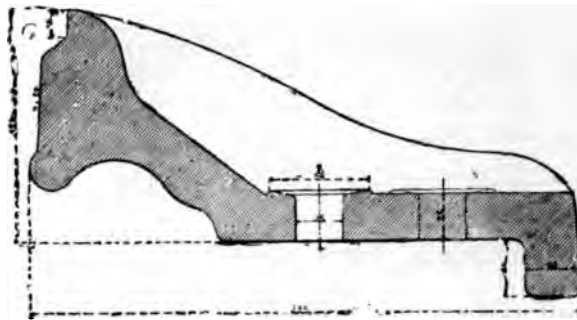


Fig. 12. — Coussinet extérieur des chemins de fer de l'État néerlandais.

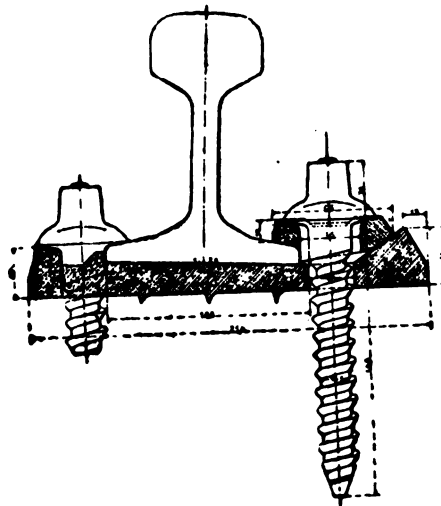


Fig. 13. — Selles, tire-fond et crapaud-coin des chemins de fer de l'État néerlandais.

(60). — *Great Western Railway*. — On se sert de boulons d'assemblage, le seul moyen d'attaches réellement sûr (fig. 14 à 17), d'après l'avis de cette Administration.

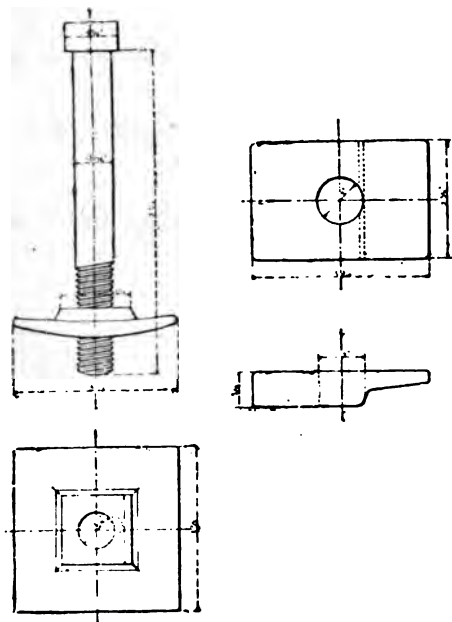


Fig. 14, 15, 16 et 17. — Boulon d'assemblage et petite plaque (crapaud) du *Great Western Railway*.

En résumé, les dispositifs indiqués ci-dessus montrent qu'il y a nécessité d'avoir une superstructure fixée plus fortement que celle qu'on peut obtenir par le mode d'attache des rails Vignoles en usage jusqu'à ce jour.

CONCLUSION.

Si nous réunissons les réponses aux quatorze questions subsidiaires, nous arrivons à la réponse suivante à la question II, litt. B, du questionnaire ainsi rédigée : « Quels sont les meilleurs modes de fixer les rails Vignoles aux traverses en bois ? »

a) *La proportion de 90 : 100 entre la largeur du patin du rail et la hauteur des rails Vignoles sur traverses en bois est jugée favorable pour le mode d'attaches ordinaire.*

b) *Les plaques d'appui en acier d'une épaisseur suffisante, à trois trous au moins et à rebords, augmentent très réellement la stabilité de la superstructure.*

c) *Le forage à l'avance des traverses est recommandé même pour les crampons en forme de coin.*

d) *A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent le plus de résistance ; à l'extérieur, ce sont les crampons.*

e) *Contre le glissement latéral et longitudinal des rails, les crampons rendent de meilleurs services que les tire-fond.*

Il est désirable que de nombreuses expériences soient entreprises avec des modes d'attaches plus forts.

A N N E X E

AU RAPPORT SUR LA QUESTION II, LITTÉRA B

Annexe au rapport

Hauteur des rails

| PAYS. | Belgique. | Danemark. | Grande-Bretagne. | France. | Pays-Bas. | Italie. | Luxembourg. | Norvège. | |
|--|-----------|-----------|------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|----------|-----|
| Hauteur des rails et largeur des patins. | 125 : 105 | " | 113 : 127 | 125 : 97 | 130 : 110 | 130 : 100 | 125 : 105 | " | 127 |
| | 145 : 135 | " | 129.2 : 138.6 | 130 : 100 | 126 : 106 | 125 : 105 | " | " | 125 |
| | 129 : 109 | " | " | 130 : 130 | 138.7 : 102 | " | " | " | 128 |
| | " | " | " | 142 : 130 | 132 : 100 | " | " | " | 122 |
| | " | " | " | 141 : 130 | " | " | " | " | 125 |
| | " | " | " | 120 : 100 | " | " | " | " | 110 |
| | " | " | " | 110 : 88 | " | " | " | " | 125 |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | 125 |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | 121 |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| Totaux . . . | 399 : 349 | " | 242.2 : 265.6 | 898 : 775 | 562.7 : 428 | 255 : 205 | 125 : 105 | " | 998 |
| Moyennes . . | 133 : 116 | " | 121.1 : 133 | 128 : 111 | 132 : 107 | 128 : 103 | 125 : 105 | " | 124 |
| Rapport entre la hauteur des rails et la largeur des patins. | 1 : 0.84 | 1 : 0.80 | 1 : 1.12 | 1 : 0.78 | 1 : 0.85 | 1 : 0.77 | 1 : 0.84 | 1 : 0.90 | 1 : |
| | 1 : 0.93 | 1 : 0.86 | 1 : 1.07 | 1 : 1.00 | 1 : 0.84 | 1 : 0.84 | " | " | 1 : |
| | 1 : 1.00 | 1 : 0.93 | " | 1 : 0.77 | 1 : 0.74 | 1 : 1.00 | " | " | 1 : |
| | 1 : 0.84 | " | " | 1 : 1.00 | 1 : 0.83 | " | " | " | 1 : |
| | 1 : 0.67 | " | " | 1 : 0.92 | " | " | " | " | 1 : |
| | " | " | " | 1 : 0.92 | " | " | " | " | 1 : |
| | " | " | " | 1 : 0.83 | " | " | " | " | 1 : |
| | " | " | " | 1 : 0.80 | " | " | " | " | 1 : |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | 1 : |
| | " | " | " | " | " | " | " | " | 1 : |
| Totaux . . . | 5 : 4.28 | 3 : 2.59 | 2 : 2.19 | 8 : 7.02 | 4 : 3.26 | 3 : 2.61 | 1 : 0.84 | 1 : 0.90 | 8 : |
| Moyennes . . | 1 : 0.86 | 1 : 0.86 | 1 : 1.10 | 1 : 0.88 | 1 : 0.82 | 1 : 0.87 | 1 : 0.84 | 1 : 0.90 | 1 : |

II-B

33

Section II. litt. B.

eur du patin.

| Roumanie. | Russie. | Schleswig-Holstein. | Suède. | Suisse. | Serbie. | Espagne. | Turquie. | Saxe-Weimar. | |
|-----------|---------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------|-------------------|
| . | 119.25 : 100 | 130.5 : 104.4 | 125 : 108 | 132 : 100 | 130 : 95 | 125 : 105 | 130 : 104 | 130 : 105 | Moyenne générale. |
| . | 120 : 100 | 130 : 105 | " | 130 : 110 | " | 125 : 95 | " | " | |
| . | 100 : 88 | 121 : 105 | " | " | " | " | " | " | |
| . | 120 : 100 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 114 : 95 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 114 : 95 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 127 : 108 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 118.75 : 100 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 85 : 75 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 127 : 102 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 127 : 101.5 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1272 : 1064.5 | 331.5 : 314.4 | 125 : 108 | 262 : 210 | 130 : 95 | 250 : 200 | 130 : 104 | 130 : 105 | 125.6 : 105.4 |
| . | 116 : 97 | 127 : 105 | 125 : 108 | 131 : 105 | 130 : 95 | 125 : 100 | 130 : 104 | 130 : 105 | |
| 0.95 | 1 : 0.84 | 1 : 0.80 | 1 : 0.875 | 1 : 0.76 | 1 : 0.73 | 1 : 0.84 | 1 : 0.80 | 1 : 0.81 | Moyenne générale. |
| . | 1 : 0.83 | 1 : 0.81 | 1 : 0.86 | 1 : 0.85 | " | 1 : 0.76 | " | " | |
| . | 1 : 0.88 | 1 : 0.87 | 1 : 0.875 | " | " | 1 : 0.84 | " | " | |
| . | 1 : 0.83 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.83 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.83 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.85 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.84 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.88 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.80 | " | " | " | " | " | " | " | |
| . | 1 : 0.80 | " | " | " | " | " | " | " | |
| .95 | 11 : 9.21 | 3 : 2.48 | 3 : 2.61 | 2 : 1.61 | 1 : 0.73 | 3 : 2.44 | 1 : 0.80 | 1 : 0.81 | 1 : 0.85 |
| .95 | 1 : 0.84 | 1 : 0.83 | 1 : 0.87 | 1 : 0.81 | 1 : 0.73 | 1 : 0.81 | 1 : 0.80 | 1 : 0.81 | |

DISCUSSION EN SECTION



(1^{re} SECTION)



Séance du 16 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. HOHENEGGER

M. le Président. La parole est à M. Hohenegger, directeur de la construction aux chemins de fer du Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.

M. Hohenegger donne une analyse succincte de l'exposé qu'il a rédigé et qui a été publié dans le *Bulletin* ⁽¹⁾. Cet exposé se termine par les conclusions suivantes :

- a) *La proportion de 90 : 100 entre la largeur du patin du rail et la hauteur des rails Vignoles sur traverses en bois est jugée favorable pour le mode d'attache ordinaire ;*
- b) *Les plaques d'appui en acier d'une épaisseur suffisante, à trois trous au moins et à rebords, augmentent très réellement la stabilité de la superstructure ;*
- c) *Le forage à l'avance des traverses est recommandé même pour les crampons en forme de coins ;*
- d) *A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent le plus de résistance ; à l'extérieur, ce sont les crampons ;*

(¹) Voir vol. III, numéro de juin 1889, p. 469.

e) *Contre le glissement latéral et longitudinal des rails, les crampons rendent de meilleurs services que les tire-fond.*

Il est désirable que de nombreuses expériences soient entreprises avec des modes d'attache plus forts.

— La discussion est ouverte.

M. Siegler (*France*). Parmi les conclusions de l'exposé de M. Hohenegger, je relève celle-ci : « d) A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent le plus de résistance; à l'extérieur, ce sont les crampons. »

Nous sommes, au chemin de fer de l'Est français, partisans des tire-fond aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des rails et je ne vois pas de raison sérieuse à employer de préférence les crampons à l'extérieur du rail.

D'après l'exposé de M. Hohenegger, je vois que certaines Compagnies invoquent, en faveur des crampons, le bon marché et la facilité plus grande d'enlever les crampons du rail.

La Compagnie du chemin de fer de Liège-Maestricht, qui a fait successivement usage des deux modes d'attache, a fini par donner la préférence au crampon, notamment parce qu'il empêche mieux que le tire-fond le glissement longitudinal des rails sur les traverses. Mais aujourd'hui, on a généralement renoncé à pratiquer des encoches dans le patin du rail pour empêcher le glissement longitudinal. Ce motif n'a donc plus de valeur.

Que le crampon coûte un peu meilleur marché que le tire-fond, ce n'est point là un bien grand avantage; car on remplace plus de crampons que de tire-fond. Ce qui est certain, c'est que le crampon n'est pas aussi solide que le tire-fond; si l'on donne la préférence au tire-fond, il faut l'employer aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur du rail. L'emploi simultané des deux systèmes ne fait que compliquer l'outillage sans utilité.

M. Hohenegger. Moi aussi, je crois que le crampon carré offre plus de résistance que le tire-fond, attendu que celui-ci travaille comme un coin en bois. Il est évident que le crampon placé à l'extérieur du patin, s'il est délogé un peu, peut être facilement renfoncé à coups de marteau, ce qu'on ne peut pas faire avec le tire-fond. La préférence donnée au crampon s'explique donc par sa plus grande résistance transversale et longitudinale, et par la facilité qu'il présente pour l'exécution des travaux de réparation de la voie.

M. Sandberg (*Suède*). Le choix entre le tire-fond et le crampon dépend surtout de la qualité du bois, dur ou tendre, employé comme traverses, ainsi que du climat. Dans les pays dont le climat est froid et où le sapin est généralement employé pour les traverses, on se sert ordinairement du crampon, qui peut être retiré rapidement pour dresser les traverses. Mais avec des traverses en bois de chêne et dans les contrées où le climat est tempéré, les tire-fond sont naturellement préférables. Toutefois, les deux modes d'attache ont le défaut d'offrir trop peu de contact avec le patin du rail pour tenir l'écartement; et les clefs de la plaque d'une largeur de huit pouces doivent être préférées.

M. Hohenegger. Je n'ai pas touché la question de la résistance au cheminement. Mais je crois aussi que le crampon carré résiste mieux que le tire-fond rond, et cela est naturel parce que la fibre du bois est en contact avec une surface plus grande quand la section est carrée que quand elle est ronde.

M. Derote (*Belgique*). Cela suppose des encoches; mais quand il n'y en a pas, est-ce que le crampon s'oppose au cheminement?

M. Hohenegger. Oui, l'éclisse cornière est encochée. On peut aussi, comme en Belgique, faire usage d'attaches d'arrêt sur billes intermédiaires.

M. Bemelmans (*Belgique*). Nous ne faisons usage d'attaches d'arrêt sur billes intermédiaires, au chemin de fer de l'État en Belgique, que dans les voies à fortes pentes. L'éclisse cornière posée en porte-à-faux est traversée par les crampons dans notre pose en rails de 38 kilogrammes et par les tire-fond dans notre pose en rails de 52 kilogrammes.

Lorsque ces derniers rails sont posés sur de fortes déclivités, nous augmentons leur résistance au cheminement en les munissant d'attaches d'arrêt placées sur les deux billes situées de part et d'autre du milieu du rail.

Ceux-ci, de 9 mètres de longueur, reposant sur douze billes dont quatre (deux de contre-joint et deux intermédiaires), s'opposent ainsi au cheminement.

Chaque attache d'arrêt se compose d'une paire de bouts d'éclisses de 13 centimètres de longueur, fixés d'une part au rail par un boulon traversant l'âme, et d'autre part à la traverse à l'aide de tire-fond.

La mise en œuvre de ce dispositif est trop récente pour que nous soyons à même d'apprécier s'il répond au but que l'on s'est proposé d'atteindre.

M. Werchovsky (*Russie*). Je n'ai pas trouvé, dans le rapport, de réponse à la

question de savoir si l'on peut employer convenablement le tire-fond sans plaque, ou si la plaque est indispensable. Je voudrais connaître sur ce point l'opinion de M. le Rapporteur.

M. Hohenegger. Quand on n'emploie pas de plaques, il faut se servir de crampons à l'extérieur. Dans ce cas, le tire-fond n'est pas admissible, parce qu'il se briserait si l'on y donnait un coup de côté. Il est partout recommandable d'employer la plaque, parce qu'elle a pour effet de serrer toutes les pièces ensemble. Il est évident que sans plaque le tire-fond vaut encore moins que le crampon à l'extérieur du rail.

M. Werchovsky. Je partage cet avis; je n'ai soulevé la question que pour connaître votre opinion. Je sais d'ailleurs plusieurs chemins de fer où l'on a essayé le système du tire-fond sans plaque.

M. Siegler. Nous avons une grande étendue de voie posée avec tire-fond sans plaque, et cependant on y circule à de grandes vitesses. La plaque n'est donc pas indispensable pour avoir une voie parfaitement stable.

M. Brière (France). A la Compagnie d'Orléans, nos voies Vignoles étaient, à l'origine, posées avec des selles; nous les avons supprimées. Mais je dois dire que c'est parce qu'elles ne valaient rien; elles étaient beaucoup trop minces. Dans ces conditions, elles ne pouvaient supporter le poids des machines, lequel a beaucoup augmenté. Aussi, sous l'action de machines de 7 à 8 tonnes par roue, les selles se sont recourbées et ont soulevé les crampons.

Nous les avons donc supprimées; et nous ne les avons pas remplacées par des selles plus fortes parce que nous abandonnons le système Vignoles.

Je suis néanmoins de l'avis de M. Siegler. Nous avons encore une longueur considérable de rails Vignoles sans selles. Nous avons remplacé les crampons par les tire-fond sans selle et jamais, d'ailleurs, je n'ai entendu dire qu'on fût fréquemment obligé de frapper horizontalement sur les crampons pour les redresser. Il n'en est rien et nous trouvons que le tire-fond, même sans selle, est préférable aux crampons.

M. Boucher (France). Sur le chemin de fer du Nord français, nous n'avons que le tire-fond sans selle, qui depuis longtemps a été substitué au crampon.

— La discussion est close.

Séance du 17 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. HOHENEGGER

M. le Président. La parole est à M. Perk pour donner lecture du rapport analysant la question II, littéra B.

M. Perk. « L'article II, littéra B, du questionnaire est relatif à la fixation des rails Vignoles aux traverses en bois. Il s'agissait de déterminer quels sont les meilleurs modes de fixer les rails Vignoles aux traverses en bois, et d'exposer notamment, avec faits à l'appui, les avantages et les inconvénients des tire-fond et des crampons.

« M. Hohenegger, directeur de la construction aux chemins de fer du Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande, a fait un exposé très complet de la question.

« Le rapporteur avait résumé, dans un formulaire, quatorze questions qui renferment tous les points qu'il est utile de connaître, tant au point de vue des attaches en elles-mêmes, que des observations et des expériences auxquelles elles ont pu donner lieu.

« Soixante et une Administrations ont, jusqu'au 15 mai, répondu à ce questionnaire et M. Hohenegger a, pour chacune des quatorze questions, dégagé l'opinion de la majorité pour l'exprimer dans son rapport, dont voici les conclusions :

« a) La proportion de 90 : 100 entre la largeur du patin du rail et la hauteur des rails Vignoles sur traverses en bois, est jugée favorable pour le mode d'attache ordinaire;

« b) Les plaques d'appui en acier d'une épaisseur suffisante, à trois trous au moins et à rebords, augmentent très réellement la stabilité de la superstructure;

« c) Le forage à l'avance des traverses est recommandé même pour les crampons en forme de coins;

« d) A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent le plus de résistance; à l'extérieur, ce sont les crampons;

« e) Contre le glissement latéral et longitudinal des rails, les crampons rendent de meilleurs services que les tire-fond.

« M. Hohenegger exprime enfin le désir que de nombreuses expériences soient entreprises avec des modes d'attache plus forts.

« En ce qui concerne la conclusion *d*, on fait observer que, sans discuter la question de résistance plus ou moins grande des crampons ou des tire-fond, suivant leur position relative, à l'intérieur ou à l'extérieur du rail, l'emploi simultané des deux modes d'attache donnerait lieu, dans la pratique, à des difficultés nouvelles : nécessité d'avoir des approvisionnements de deux modes d'attache différents, des outils spéciaux pour le fixage ou l'enlèvement de chacun d'eux, etc.

« D'autre part, plusieurs membres expriment l'opinion que le choix entre le crampon et le tire-fond est déterminé par les conditions climatiques de la région et par la nature du bois employé pour les traverses : le crampon paraît préférable pour les pays froids et avec les bois tendres; le tire-fond, au contraire, se fixe mieux dans les traverses en bois dur, tel que le chêne.

« Une discussion est engagée sur l'emploi des plaques d'appui, indiqué au littéra *b* des conclusions ; plusieurs Administrations, entre autres le Nord et l'Est, ne font pas emploi de selles sans qu'il en soit résulté des inconvénients; d'autres les ont même supprimées, et ces Administrations n'ont pas remarqué que la stabilité des lignes ainsi construites ait laissé à désirer, bien que ces lignes soient parcourues par des trains très chargés et marchant à de grandes vitesses.

« Sous réserve de ces observations, nous avons l'honneur de proposer au Congrès de se rallier en général aux conclusions formulées par M. Hohenegger. »

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 20 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. A. PICARD

M. Hohenegger donne lecture du rapport de la 1^{re} section sur la question II, littéra B. (Voir ci-dessus ce rapport dans le compte rendu de la séance du 17 septembre de la 1^{re} section.)

M. de Serres (*Autriche*). Je propose la suppression de la dernière partie de la phrase du littéra d des conclusions du rapporteur: «à l'extérieur, ce sont les crampons». Je n'ai pas assisté à la discussion en section; j'en exprime les plus vifs regrets. La chose me paraît contestable. Je ne sais si la question a été examinée à fond.

M. Hohenegger. Parfaitement.

M. de Serres. S'exprimer en termes aussi formels me paraît osé.

M. Hohenegger. Je me permets de lire l'avis de votre Administration, c'est-à-dire de la Compagnie austro-hongroise des chemins de fer de l'État.

Il est ainsi conçu :

« Ce chemin de fer estime que l'emploi des tire-fond et des crampons à section carrée est justifié, parce qu'à l'extérieur de la voie, le crampon placé à l'extérieur du patin du rail résiste mieux, grâce à sa section carrée, — tant sous le rapport de la rigidité que de la pénétration dans les fibres du bois, — que le tire-fond à section ronde et petite. Celui-ci rend néanmoins, d'après l'expérience acquise, les meilleurs services contre la tendance au déversement des rails à l'intérieur de la voie du côté extérieur du patin du rail, en maintenant plus solidement le côté

intérieur et en offrant une plus grande résistance contre le relâchement successif provoqué par le mouvement ondulatoire des rails à la suite du passage des charges. »

M. de Serres. Il y a là une évidente inconséquence, puisque je suis l'auteur de l'affirmation qui me donne tort. Mais elle n'est pas aussi réelle qu'apparente. Notre Compagnie emploie exclusivement des traverses en chêne de la meilleure qualité. Nous sommes sur les lieux mêmes de production et il nous est permis, en effet, de choisir parmi des quantités considérables. Nous avons l'égoïsme de laisser les moins bonnes aux autres. Ce qui est vrai pour des traverses de chêne de première qualité peut ne pas l'être aussi absolument pour des bois tendres et d'autres bois provenant de l'Europe occidentale. L'inconséquence n'est pas aussi réelle qu'elle le paraît avec les conclusions de la section.

Je maintiens donc ma proposition de supprimer la deuxième partie du littéra d : « à l'extérieur, ce sont les crampons ». Cette affirmation me paraît un peu absolue. Il n'est pas établi que dans des bois d'une autre nature que le chêne, les tire-fond bien employés ne valent pas mieux que les crampons. Il faut éviter des affirmations trop exclusives et qui nous limitent dans notre liberté d'action comme ingénieurs et comme administrateurs financiers, surtout vis-à-vis des exigences constamment croissantes du contrôle de l'État.

M. Hohenegger. Si l'assemblée le désire, je puis citer encore plusieurs autres Compagnies qui sont du même avis : c'est le chemin de fer du Nord autrichien, c'est le chemin de fer du Gothard et d'autres encore qui ont affirmé ce fait. J'ai comparé les réponses des Administrations qui emploient tous les moyens d'attache. Elles sont en état, je pense, de résoudre la question.

M. Noblemairé (France). Il ne me semble pas que la question soit bien posée. Il ne faut pas que M. le Rapporteur fasse une sorte de consultation du suffrage universel. Puisqu'un certain nombre de Compagnies ont déclaré, à la suite de leur expérience, qu'à l'intérieur des rails les tire-fond présentent plus de résistance, et qu'à l'extérieur ce sont les crampons, il doit être permis de le dire en termes formels. Si cela est, nous devons avoir le courage de notre opinion. Mais, en présence de l'affirmation quelque peu contradictoire de M. de Serres, et aussi de l'affirmation des ingénieurs du Gothard, qui prétendent que le crampon est meilleur que le tire-fond, il serait bon que quelqu'un dit au moins pourquoi.

Je n'irai pas aussi loin que M. de Serres, en proposant de supprimer la

deuxième partie du littéra *d*. Qu'on dise : « à l'intérieur des rails, les tire-fond doivent être préférés; à l'extérieur, les tire-fond et les crampons sont indifférents », je le comprends. Mais je serais heureux que ces messieurs, qui ont employé exclusivement des crampons à l'extérieur, voulussent bien nous dire les motifs de leur préférence. L'assemblée pourrait ainsi se faire une opinion.

M. Dietler (*Suisse*). J'ai demandé la parole pour écarter un malentendu. Les ingénieurs du Gothard ne peuvent pas avoir dit que les crampons sont meilleurs à l'extérieur. Le Gothard n'emploie pas de tire-fond.

M. Hohenegger. Notre rapport dit que vous aviez autrefois des crampons ayant la forme d'un octogone se rapprochant d'un cercle. Vous avez été forcés de substituer aux crampons octogones des crampons carrés pour empêcher le cheminement des rails parce que les encoches rondes des patins s'élargissaient et que vous n'aviez aucune résistance au cheminement. A l'extérieur du rail, le crampon a deux choses à faire : d'abord résister au mouvement latéral du rail, ensuite s'opposer au mouvement dans l'autre sens; c'est-à-dire qu'un crampon à section carrée prend une grande surface des fibres du bois, de sorte que ces fibres résistent mieux que si la section est ronde. Celle-ci, travaillant comme un coin, élargit le trou dans le bois, tandis que la section plate, étant plus large, résiste mieux.

M. Noblemaire. Alors, il faudrait dire : « des crampons à section rectangulaire ».

M. Brière. Je demande la permission de faire observer que lorsque ce procès verbal a été adopté à la 1^{re} section, il a été entendu que ce membre de phrase serait enlevé des conclusions définitives. Il y a eu un malentendu. Je fais appel aux souvenirs des membres de la 1^{re} section. Cette remarque rentre dans la catégorie des observations qui sont visées à la fin des conclusions, où il est dit : « sous réserve de ces observations, nous avons l'honneur de proposer au Congrès de se rallier en général aux conclusions formulées par le rapporteur. » Voilà comment il se fait que M. de Serres demande la suppression de ces mots : « à l'extérieur, ce sont les crampons ».

M. le Président. M. le Président de la 1^{re} section ne s'oppose pas à la suppression demandée par M. de Serres. Je consulte l'assemblée sur cette suppression.

« l'assemblée décide que les mots : « à l'extérieur, ce sont les crampons »
sont supprimés des conclusions définitives.

M. Hohenegger. A la fin de mon rapport, je me suis permis de signaler tous les modes d'attache qui m'ont été indiqués par les différentes Compagnies. Ils sont décrits par des figures dans le texte. Mon opinion est que l'on ne doit pas rester au point où l'on en est aujourd'hui. Puisque l'on cherche à renforcer les modes d'attache, on doit faire le plus d'expériences possible.

M. le Président. Est-ce une opinion purement personnelle que vous exprimez dans le rapport ?

M. Hohenegger. Oui, monsieur le Président.

M. le Président. Elle sera consignée au procès-verbal.

M. Hohenegger. Cependant, elle a été adoptée par la section, en ce sens qu'un vœu a été émis pour des expériences nombreuses avec des modes d'attache plus forts.

M. le Président. Ce vœu de la section prendra place dans les conclusions de l'assemblée générale, puisque personne n'y fait d'objection.

M. Brière. Je demande à reprendre encore un instant la parole au sujet du littéra *d*. Il y a un malentendu sur cette question. D'habitude, nous avons fait comme toutes les sections : nous avons libellé des conclusions; pour cette question-ci, le procédé n'est pas le même. Il est dit, dans le rapport de la section qui vous a été lu et que vous avez entre les mains, que la discussion a eu lieu sur l'exposé du rapporteur, que des observations ont été faites et que la section s'est associée ensuite aux conclusions du rapporteur. Ce n'est pas tout à fait exact. La section a dit qu'elle s'associait aux conclusions de l'exposé du rapporteur, mais sous réserve de quelques observations qui sont consignées à la fin du rapport de la section que vous avez entre les mains. Nous avons dit notamment que c'était sous réserve de quelques observations relatives aux crampons.

M. le Président. Je rappelle que sur le fond, M. Brière a satisfaction, puisque l'assemblée générale vient de décider la suppression de la seconde partie de la conclusion *d*.

N'y a-t-il plus d'observations ?

M. de la Tournerie (France). Le paragraphe *d* des conclusions est ainsi conçu : *A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent plus de résistance; à l'extérieur, ce sont les crampons.* On vient de décider la suppression de cette dernière partie

de la phrase. Cependant, le paragraphe *e* me paraît la justification de l'opinion qu'on veut retrancher. On y dit, en effet, que, *outre le glissement latéral et longitudinal des rails, les crampons rendent de meilleurs services que les tire-fond*. Que signifiera ce paragraphe *e* en présence de la suppression que vous voulez décider?

M. Noblemaire. Si on fait, au paragraphe *e*, l'éloge des crampons, on ne fait plus, à un autre paragraphe, l'éloge du tire-fond. Il faudrait dire, pour être juste, qu'au point de vue de l'arrachement, le tire-fond vaut mieux, et qu'au point de vue du glissement, c'est le crampon qui l'emporte.

M. le Président. J'avais interprété l'opinion émise par l'immense majorité sur la seconde partie du littéra *d*, comme entraînant la suppression du littéra *e*. Cette observation a été faite par plusieurs personnes. Les observations échangées doivent nous faire reconnaître qu'il conviendrait de donner une forme quelque peu différente à l'ensemble des conclusions du Congrès.

Ces conclusions pourraient être ainsi libellées :

« L'assemblée, après avoir pris connaissance des avis exprimés par 61 Administrations de chemins de fer, en a dégagé ainsi qu'il suit l'opinion de la majorité :

« *a*) La proportion de 90 : 100 entre la largeur du patin du rail et la hauteur des rails Vignoles sur traverses en bois est jugée favorable pour le mode d'attache ordinaire;

« *b*) Les plaques d'appui en acier d'une épaisseur suffisante, à trois trous au moins et à rebords, augmentent très réellement la stabilité de la superstructure;

« *c*) Le forage à l'avance des traverses est recommandé même pour les crampons en forme de coins;

« *d*) A l'intérieur des rails, les tire-fond présentent plus de résistance.

« L'assemblée a néanmoins constaté, en ce qui concerne les plaques d'appui en acier, que plusieurs Administrations s'étaient toujours abstenues d'en faire usage et que d'autres les avaient supprimées, même sur des lignes parcourues par des trains très chargés et à grande vitesse, sans constater une réduction de la stabilité de la voie.

« En ce qui concerne les crampons et les tire-fond, l'assemblée fait remar-

quer que l'emploi simultané des deux modes d'attache est susceptible de donner lieu, dans la pratique, à des difficultés, telles que la complication des approvisionnements et des outillages de la voie; elle estime, en outre, que le choix entre les deux modes peut être déterminé par des circonstances d'espèces, telles que les conditions climatiques de la région et la nature des bois employés pour traverses (crampons généralement préférables pour les pays froids et les bois tendres, tire-fond se fixant mieux dans les traverses en bois dur).

- L'assemblée a, en outre, exprimé le désir que de nombreuses expériences soient entreprises avec des modes d'attache plus forts. »

— Ces conclusions sont adoptées.

QUESTION II, LITTÉRA C

ÉCLISSAGE



*Quelles sont les dispositions adoptées pour l'éclissage des rails
et quelles peuvent être les améliorations à y apporter?*

QUESTION II, LITTÉRA C

TABLE DES MATIÈRES



| | Pages. |
|---|-----------|
| Exposé par M. PIÉRON (28 figures). | II-C — 3 |
| Discussion en section | II-C — 47 |
| — en séance plénière et conclusions | II-C — 52 |

EXPOSÉ

Par M. PIÉRON

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSEES, ATTACHÉ A LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD FRANÇAIS

Nota. — Je suis heureux de remercier M. Baudson, chef de section au chemin de fer du Nord français, qui a préparé et rédigé le présent rapport d'après les indications que je lui avais données.

PIÉRON.

SOMMAIRE

Attaches des rails. — *Mouvement et travail des rails* : Fouettement et cisaillement; cheminement. — *Joints des rails* : Position des joints; largeur du porte-à-faux; chevauchement des joints. — *Éclissage* : But de l'éclissage; arrêt du cheminement; coins d'arrêt; formes, dimensions et fonctions des éclisses; boulons d'éclisses; rondelles et platines; coussinets en fonte et coins en bois ou en acier; tire-fond; arrêt du déplacement latéral; plaques de feutre; selles ou platines; selles d'arrêt. — *Disposition et composition des voies* : Est; Midi; Nord; Orléans; Ouest; Paris-Lyon-Méditerranée. — *Calculs de travail et de résistance* : Des rails; des éclisses assemblées. — *Autres chemins de fer* : Compagnie privilégiée des chemins de fer du Sud (Autriche); chemins de fer néerlandais; Compagnie du chemin de fer du Nord-Autrichien et jonction Sud-Nord Allemande.

ATTACHES DES RAILS.

On désigne, sous le nom général d'attaches, tous les éléments de la voie destinés à maintenir invariablement le rail dans une position déterminée.

Pour ne pas sortir du cadre de notre travail, nous n'entreprendrons pas de décrire toutes les formes d'attaches proposées ou mises à l'essai; nous nous bornerons à décrire et à examiner les types les plus généralement employés par

les grandes Compagnies françaises, pour assurer la fixation et l'arrêt des rails dans leurs voies.

Les croquis détaillés et les tableaux ci-joints, qui se complètent les uns par les autres, donneront, pensons-nous, pour chacun des systèmes, avec ce que nous allons en dire, une idée suffisamment nette et précise des dimensions et dispositions des pièces qui les composent pour nous dispenser de descriptions plus détaillées et pour permettre au lecteur d'en analyser et comparer les divers modes actuellement en service.

MOUVEMENTS ET TRAVAIL DES RAILS DANS LES VOIES.

Fouettement et cisaillement. — Lorsque, sur une voie ferrée (quels que soient le type et la forme générale du rail et de ses attaches sur les traverses), chacune des roues des véhicules du train qui y passe arrive sur l'extrémité d'une barre, celle-ci, soulevée d'abord par la flexion, est presque aussitôt abaissée brusquement ; il en résulte un martellement vertical du bout du rail, des vibrations transversales et des ressauts, puis un fouettement des bouts libres, qui augmente d'amplitude avec le temps et finit par produire le relâchement des attaches sur les traverses voisines ; la voie se détériore en plan et en profil, des points bas se forment, des sinuosités se dessinent ; les actions verticales et transversales deviennent plus violentes, les réactions se développent et le tout provoque bientôt un état de choses aussi désagréable aux voyageurs que préjudiciable à la stabilité générale de la voie et à la conservation du matériel fixe et roulant.

On a songé, pour remédier à la solution de continuité que présentent les rails posés au bout les uns des autres, à transformer la voie en deux files continues, indéfinies, de rails solidarisés, en leur conservant, dans le sens de la longueur, le degré de latitude qu'exigent les variations atmosphériques.

On a obtenu ce résultat par l'application à chaque joint, contre l'âme des deux rails placés bout à bout, de deux moises ou platines, véritables armatures latérales qui, réunies et fortement serrées par des boulons, rétablissent la résistance transversale et horizontale, réduisent le ressaut et le fouettement des rails et assurent, d'une manière fixe et invariable, la coïncidence exacte et l'affleurement horizontal et vertical des extrémités ainsi conjuguées.

Ces moises ou platines se nomment éclisses.

Cheminement — Outre le fouettement et le cisaillement que nous venons de décrire, il se produit encore, au passage des trains, un autre mouvement dans

la voie; les rails tendent à glisser sur les traverses dans le sens de la marche des convois, même parfois en remontant les rampes.

Sur les lignes à voie unique parcourues dans les deux directions, le glissement des rails se produit, alternativement, dans un sens et dans l'autre; la superposition de ces deux mouvements inverses, d'amplitudes inégales sur les pentes, mais s'annihilant sur les paliers, a pour résultat final de faire cheminer les rails dans les pentes, au pied des pentes, et sur une certaine longueur des paliers dans le sens des déclivités qui y aboutissent.

Ces mouvements de cheminement, d'entraînement ou de translation sont encore déterminés par la mise en jeu des freins, l'action propulsive du bandage de chaque roue, l'entraînement du rail sous le train lui-même, en raison de la vitesse acquise; enfin, dans les courbes, par le patinage et le frottement du boudin des roues.

Toutes les recherches, les expériences, et les essais faits par les ingénieurs, prouvent combien l'étude d'un type de rail et d'attaches est important au point de vue de la sécurité des chemins de fer.

Les deux questions sont connexes, et nous allons les examiner.

JOINTS DES RAILS.

Position des joints. — Les joints sont la partie faible de la voie; c'est là que se concentrent les actions les plus énergiques de destruction occasionnées par le passage des trains; il est donc utile d'y accumuler les mesures de précaution et les dispositions pour y assurer la solidité et la rigidité de la voie, et aussi l'assemblage et l'affleurement exacts des bouts des rails.

Joints en porte-à-faux. — La position des joints éclissés, relativement aux appuis, pour un espacement donné de ceux-ci, est évidemment loin d'être indifférente comme elle le serait si la résistance était uniforme. Abstraction faite de toute hypothèse sur la distribution des sollicitations auxquelles est soumis le rail, le joint en porte-à-faux, c'est-à-dire tombant entre deux traverses consécutives, est préconisé par de nombreux partisans comme étant le meilleur système. (Le calcul montre, d'ailleurs, que le moment sur l'appui pour le joint porté par une traverse est égal, sinon supérieur, au moment sur le milieu de la traverse pour le joint en porte-à-faux.)

Des fréquentes expériences faites, un peu partout, il résulte en effet que ce mode de pose ne présente aucun inconvénient et qu'il a, par contre, des avan-

tages justifiant la préférence qui lui est accordée : stabilité plus grande des traverses de contre-joint et des éléments de la voie ; relâchement moindre des boulons d'éclisses ; atténuation des chocs dus à la solution de continuité et de la petite flexion qui en résulte ; élimination à peu près complète des ressauts, du fouettement et du martellement des bouts ; allure et roulement plus doux et mouvement plus tranquille des véhicules ; réduction du travail des éclisses et, par suite, de la flexion et du cisaillement au joint ; usure moindre des véhicules et des bouts de rails ; bourrages des traverses moins fréquents ; entretien plus facile ; affranchissement de la condition d'avoir des traverses plus larges et plus régulières pour les joints. Tels sont les avantages qui ressortent d'une longue pratique, d'observations comparatives prolongées et d'essais variés, dont les résultats ont toujours été tellement satisfaisants, que toutes les Compagnies françaises, unanimement, et la majeure partie des Compagnies étrangères ont définitivement adopté ce système.

Largeur du porte-à-faux. — La largeur du porte-à-faux varie de 60 à 70 centimètres sur le réseau français. La théorie et la pratique démontrent, en effet, que le joint en porte-à-faux offre la disposition la plus favorable au point de vue de la résistance normale, à la condition toutefois que les supports voisins du joint s'en rapprochent autant que possible ; mais il ne faut pas perdre de vue que le joint éclissé est d'autant meilleur que l'éclisse est plus longue. Pour concilier ces deux conditions opposées, la largeur de 70 centimètres est un peu forte, car on a une éclisse trop longue et le travail du métal augmente considérablement dans l'éclisse et dans le rail ; celle de 60 centimètres est un peu faible, car c'est le minimum de l'espacement nécessaire pour exécuter sous les traverses un bourrage sérieux et efficace et y assurer l'évacuation rapide des eaux pluviales.

Chevauchement des joints. — La Compagnie du Nord et la Compagnie de l'Est ont essayé un système de pose, dit « à joints chevauchés », qui consiste à ne plus mettre les deux joints sur une même traverse, mais à les alterner sur les traverses à mi-rail d'une file sur l'autre. On croyait pouvoir compter : 1° que cette pose donnerait un roulement plus doux que la pose à joints concordants, parce que les chocs dus au passage sur les deux joints n'étant pas simultanés, leur action sur le mouvement de la voiture devait être atténuée par le seul fait que la traverse de joint, au lieu d'être sollicitée au déversement à chacune de ses extrémités, est, au contraire, maintenue à l'une d'elles par la pression du

rail continu qu'elle supporte; 2° que la traverse recevant des secousses moins violentes conserverait mieux le bourrage; et 3° enfin, que les joints, venant à céder au passage d'une roue, la machine ou les véhicules soutenus par les autres roues ne seraient pas libres de suivre le mouvement.

L'expérience ne permet pas d'attribuer une grande supériorité aux joints chevauchés, il semble donc qu'il convienne de s'arrêter aux joints concordants, c'est-à-dire à ceux qui se trouvent toujours sur une même normale à la voie.

ÉCLISSAGE.

But de l'éclissage. — Si l'on a longtemps tâtonné sur la forme et le genre d'assemblage à appliquer aux joints des rails, pour relier longitudinalement bout à bout toutes les barres d'une même file, le tableau résumé et les croquis ci-annexés prouvent que les ingénieurs sont aujourd'hui, à quelques détails près, d'accord sur la forme, le profil et les diverses combinaisons à adopter pour déterminer le mode d'éclissage le plus simple et qui remplisse en même temps la triple fonction : 1° de consolider les joints, en neutralisant la force qui tend à fléchir les rails à leurs extrémités libres, dans le sens vertical et dans le sens horizontal; 2° d'assurer surtout l'affleurement exact des bouts et du sommet des champignons, en rendant plus parfaite la coïncidence des extrémités; et 3° enfin, de combattre l'entraînement de la voie dans le sens longitudinal, tout en évitant, d'une façon absolue, l'entaillage d'encoches ou le perçage de trous dans le patin du rail. L'entaillage et le perçage ont, en effet, une grande importance au point de vue de la résistance des barres d'acier et paraissent être pour elles une cause de destruction anormale et de détérioration rapide.

Arrêt du cheminement. — L'entraînement étant dû surtout à la dénivellation aux joints et aux chocs qu'elle y détermine, l'éclissage en porte-à-faux, à joints concordants, qui a considérablement amélioré le second inconvénient, a, par cela même, réduit le premier; il agit aussi et très efficacement en restreignant la liberté du rail qui ne peut obéir aux impulsions des roues qu'en surmontant une plus grande résistance, le frottement dû à la tension plus ferme des boulons.

C'est au moyen de l'éclissage et par l'intermédiaire des attaches du rail sur la traverse, que chaque Compagnie arrive à combattre, avec plus ou moins de succès, cette tendance au cheminement, en solidarissant plus ou moins intimement chaque rail avec deux de ses appuis sans entailler ni percer le patin.

Coins d'arrêt. — La Compagnie du Nord emploie, pour la voie Vignoles AF, 30*300 posée en joints-portés, des coins d'arrêt en fer galvanisé contre lesquels les rails viennent buter. Ces coins sont enfoncés dans les traverses dans les petites encoches disposées pour les recevoir aux extrémités du patin des rails. Ils sont posés à raison de deux par rail en contact avec celle des deux extrémités qui doit être retenue, enfoncés parallèlement aux fibres du bois et fortement appuyés contre le rail, de sorte qu'en s'opposant à son glissement ultérieur, ils lui conservent cependant la faculté de se dilater en sens inverse du mouvement de la voie.

Pour les lignes à voie unique, parcourues dans les deux directions et où le glissement se produit alternativement dans un sens et dans l'autre, les coins d'arrêt se posent de la manière suivante : 1° sur les pentes, ils sont placés à l'extrémité la plus basse des rails; 2° sur les paliers établis immédiatement au pied des pentes, ils sont placés sur chaque moitié de la longueur comme sur les pentes elles-mêmes; 3° sur les parties de paliers situées aux abords d'une gare et à 600 mètres en avant des aiguilles extrêmes, les coins sont placés à l'extrémité des rails la plus rapprochée de la gare; 4° sur toute autre partie des paliers, la position des coins est indifférente.

L'expérience démontre que les coins d'arrêt sont insuffisants pour combattre efficacement et annihiler la tendance au glissement longitudinal, quand le profil du chemin se présente avec des inclinaisons supérieures à 0^m005, même pour les lignes parcourues par des trains à vitesse ordinaire. On est ainsi conduit à reprendre fréquemment l'opération si coûteuse, désignée dans la pratique sous le nom de tirage à joints ou de division des joints.

Formes, dimensions et fonctions des éclisses. — 1° Dans les voies secondaires :

(a) La Compagnie de l'Est emploie, pour assembler les rails Vignoles bout à bout, à l'intérieur, une éclisse plate ordinaire de $\frac{0^m0801}{0^m510}$ percée de trous ovalisés, et, à l'extérieur, une éclisse cornière de $\frac{0^m08455}{0^m750}$ dont les extrémités du patin se fixent, au moyen de deux tire-fond, sur les deux traverses contre-joints;

(b) La Compagnie du Midi, pour ses rails à double champignon, emploie, à l'intérieur, une éclisse plate allongée de $\frac{0^m077}{0^m540}$ sans rainure, qui va buter contre l'aillette du coussinet de contre-joint le plus bas placé; et, à l'extérieur, une éclisse plate ordinaire de $\frac{0^m077}{0^m450}$ à rainure horizontale.

(c) La Compagnie du Nord relie les rails Vignoles d'une même file l'un à l'autre, au moyen de deux éclisses plates renforcées de $\frac{0^m084}{0^m520}$ de formes semblables et percées de trous ovales. Elle adapte ensuite, à l'éclisse intérieure, une plaque d'arrêt en fer de $0^m006/0.075/0.215$ repliée par le bas, selon la forme du patin du rail, de manière que l'extrémité vienne buter contre la tête du tire-fond de la première traverse qui suit le joint ;

(d) La Compagnie d'Orléans applique, aux joints de ses rails à double champignon, deux éclisses plates de $\frac{0^m084}{0^m450}$ dont une, celle extérieure, à rainure, et l'autre, celle intérieure, sans rainure ;

(e) La Compagnie de l'Ouest, pour assembler les rails à double champignon, place, à l'extérieur, une éclisse plate ordinaire de $\frac{0^m080}{0^m450}$ et, à l'intérieur, une éclisse plate à pied renforcé de $\frac{0^m140}{0^m460}$ percée de trous ovalisés et qui va buter, par ses extrémités, sur les ailettes des coussinets de contre-joint.

Pour les rails Vignoles, elle emploie, à l'extérieur, une éclisse plate ordinaire de $\frac{0^m08368}{0^m450}$ percée de trous ovalisés ; et, à l'intérieur, une éclisse cornière dont le patin, à ses extrémités, va se tire-fonner sur les deux traverses contre-joint ;

(f) La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée assemble, bout à bout, les rails Vignoles de ses voies en y appliquant, à l'intérieur, une éclisse cornière de $\frac{0^m08662}{0^m480}$, et à l'extérieur, une éclisse cornière de $\frac{0^m09081}{0^m725}$ renforcée d'un talon et dont le patin, à ses extrémités, se tire-fonne sur les deux traverses contre-joints ;

Sur les lignes secondaires fréquentées, on remplace l'éclisse cornière intérieure de $\frac{0^m08662}{0^m480}$ par une éclisse cornière de $\frac{0^m09081}{0^m725}$ à patin et à talon, exactement semblable à l'éclisse cornière de $\frac{0^m09081}{0^m725}$ à patin et à talon, placée à l'extérieur ;

2° Pour les voies à express, fort chargées et à lourd trafic :

(a') La Compagnie de l'Est emploie, pour les rails Vignoles, à l'intérieur comme à l'extérieur, deux éclisses cornières de $\frac{0^m09376}{0^m780}$ avec talon, et dont les extrémités des patins se fixent au moyen de deux tire-fond sur les deux traverses contre-joints ;

(b') La Compagnie du Midi conserve le même éclissage pour ses rails double

champignon de 11 mètres de longueur, que pour ceux de 5^m50 des voies secondaires;

(c') La Compagnie du Nord éclisse ses rails Vignoles de gros calibre au moyen d'éclisses cornières de $\frac{0^m094858}{0.650}$, qui reçoivent à leurs extrémités des encoches arrondies, pour permettre le passage des tire-fond sur lesquels elles viennent s'appuyer. Les éclisses extérieures sont munies de deux filets; celles intérieures sont planes;

(d') La Compagnie d'Orléans, pour les rails à double champignon, emploie, à l'extérieur, l'éclisse plate ordinaire de $\frac{0^m084}{0.450}$ à rainure, et à l'intérieur, une éclisse de même profil, sans rainure et allongée de $\frac{0^m084}{0^m550}$, dont les extrémités vont buter contre les oreilles des coussinets contre-joints;

(e') La Compagnie de l'Ouest éclisse les rails à double champignon, qu'elle emploie exclusivement dans les lignes à grand trafic, de la même façon que dans les lignes secondaires;

(f') La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée éclisse les rails Vignoles de gros calibre comme ses rails de petit calibre : à l'intérieur, une éclisse cornière de $\frac{0^m09081}{0^m480}$, et, à l'extérieur, une éclisse cornière de $\frac{0^m09331}{0^m750}$ à talon et à patin, se tire-fonnant sur les deux traverses contre-joints;

Dans les lignes à trafic très lourd, elle remplace, à l'intérieur, l'éclisse cornière de $\frac{0^m09081}{0^m480}$ par l'éclisse cornière de $\frac{0^m09331}{0^m750}$ à talon et à patin, exactement semblable à celle placée à l'extérieur.

En résumé, les éclisses actuellement employées par les Compagnies du Midi, de l'Orléans et de l'Ouest, sont très analogues; elles semblent résumer ce que chacune de ces trois Compagnies a calculé, imaginé et expérimenté de mieux pour assurer l'éclissage et l'arrêt des voies en rails à double champignon.

Les éclisses cornières employées par les Compagnies de l'Est, de l'Ouest et de Paris-Lyon-Méditerranée, pour les rails à patins des deux types (gros ou petit calibre), et dont les extrémités vont se fixer, à l'aide de tire-fond, sur les traverses contre-joints, présentent, entre les deux points d'appui, au point de vue du cisaillement, une grande solidité et la cornière donne la plus grande sécurité.

L'éclissage-arrêt employé par la Compagnie du Nord, dans la voie de 30^k300, est moins robuste, à cause du moindre appui que les éclisses prennent sur les traverses contre-joints. Il présente aussi moins de garantie pour combattre le glissement longitudinal de la voie, mais il faut dire qu'un serrage convenable

des tire-fond, toujours obtenu par un bon entretien, s'oppose très efficacement à l'entraînement des rails. La bride d'arrêt, employée actuellement pour les lignes secondaires, a été expérimentée déjà par la Compagnie de l'Est, qui n'a pas poursuivi son essai; et les éclisses cornières, employées pour les voies à express et dont les chanfreins évidés des extrémités arrondies viennent buter sur la surface sphéroïde de la tête des tire-fond de contre-joint, ont été abandonnées aussi par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

Nous voyons, d'autre part, que, quelles que soient la forme du rail et les dispositions de l'éclissage, les Compagnies ont toutes adopté, pour l'éclisse destinée à recevoir les têtes des boulons et à les empêcher de tourner quand on serre les écrous, les combinaisons diverses suivantes :

La première de ces combinaisons (Nord, Est, Midi, Orléans, Ouest) consiste à y faire venir à la fabrication deux filets ou cordons de 2 à 3 millimètres d'épaisseur ou une rainure longitudinale de 2 à 3 millimètres de profondeur, dans lesquels s'engage la tête du boulon aplatie horizontalement. Cette manière de faire exige deux modèles d'éclisses et oblige à maintenir, pour l'empêcher de tourner, la tête du boulon engagée dans la rainure pendant la manœuvre de l'écrou.

On a essayé à l'Est, au Nord et au Paris-Lyon-Méditerranée, une autre disposition : le collet du boulon porte deux ergots, qui lui donnent une section allongée dans le sens horizontal, et les trous d'éclisses reçoivent deux étoquiaux qui les ovalisent et leur permettent de maintenir le boulon par ses deux ergots. Les ruptures d'éclisses assez nombreuses qui se sont produites depuis l'adoption des joints en porte-à-faux ayant été attribuées à la forme ovale des trous de ce dernier type d'éclisses, cette disposition n'est pas à recommander.

Dans les deux nouveaux types de voies de Paris-Lyon-Méditerranée et le nouveau type de gros calibre de l'Est, par suite de l'addition, à la partie supérieure de la cornière, d'un talon d'arrêt latéral pour la tête du boulon, qui porte une partie méplate au Paris-Lyon-Méditerranée, aplatie et allongée verticalement à l'Est, on n'a plus besoin d'ergots au collet des boulons et les trous sont ronds. Ce mode d'éclissage exige, lui, deux modèles de boulons; le précédent est plus simple.

Excepté à la Compagnie de l'Ouest, pour ses voies à double champignon, et à la Compagnie de l'Est, pour ses voies Vignoles, les écrous des boulons d'éclisses sont placés à l'intérieur de la voie, et les têtes à l'extérieur, qu'elles soient maintenues par des filets, des rainures, des ergots ou des talons. Cette dispo-

sition est évidemment la meilleure, surtout lorsque les traverses sont garnies de ballast, la face interne du rail devant toujours être maintenue dégagée; mais, même avec les traverses à nu, il convient de placer les écrous à l'intérieur pour en rendre plus prompts et plus faciles le serrage et la vérification.

Pour tous les rails Vignoles actuellement en service, les deux portées planes du champignon et les deux faces des éclisses qui viennent s'y coller, font entre elles un angle de $126^{\circ} 53' 12''$ suivant des inclinaisons concourantes de $1/2$ sur l'horizontale passant par le plan de symétrie des éclisses; cette amplitude n'est pas la même partout; ainsi l'on a choisi $6/11$, soit $122^{\circ} 46' 44''$ au Midi; $\frac{815}{450}$, soit $82^{\circ} 15' 54''$ à l'Orléans; et $\frac{415}{579,8}$, soit $96^{\circ} 46' 28''$ à l'Ouest, pour l'inclinaison des faces planes de portées et d'éclissage des rails à double champignon.

La fonction essentielle des éclisses est d'assurer la coïncidence exacte du bout des rails, et c'est pourquoi elles sont fortement réunies et appuyées contre les rails par des boulons énergiquement serrés, avec rondelles plates sous l'écrou pour empêcher le desserrage.

Elles doivent aussi présenter à la flexion, verticalement et horizontalement, une résistance aussi grande que possible pour vaincre les efforts auxquels elles sont soumises dans l'exploitation.

On s'est, en général, préoccupé des efforts développés dans les éclisses ainsi assemblées (que certains ingénieurs considèrent comme des contre-joints ne supportant que le cisaillement produit par la charge des roues, et auxquels d'autres n'attribuent que la fonction d'assurer la conjonction des extrémités des rails), et cherché à améliorer la résistance de l'assemblage, pour atténuer la disproportion des efforts déployés aux joints éclissés. L'égalité des efforts maxima appliqués sur les rails et sur les éclisses exigerait qu'on eût $\frac{I'}{V'} = \frac{I}{V}$ (I et I' étant les moments d'inertie respectifs du rail et des deux éclisses, V et V' les $1/2$ hauteurs respectives).

Pour les types d'éclisses les mieux étudiés, le moment $\frac{I}{V}$ d'une paire d'éclisses doit être inférieur au quart de celui du rail et les boulons d'assemblage avoir une section suffisante. Quelques Administrations ont fixé à 30 p. c. le rapport entre la résistance de l'éclisse et celle du rail, au point du plus grand écartement des traverses, quand d'autres pensent que la résistance des deux parties doit être à peu près identique et peut même aller jusqu'à 80 p. c. de la résistance du rail.

Au moyen du tableau des calculs de résistance que nous donnons plus loin, il est facile de rechercher dans quelles conditions, par rapport aux rails, travaillent les éclisses des différents types de voies, de déterminer leur résistance proportionnelle et de voir enfin si, pour utiliser cette résistance, on a donné une section suffisante ou exagérée aux boulons d'assemblage.

Boulons d'éclisses. — Les types des boulons exclusivement adoptés aujourd'hui pour le serrage et la fixation des éclisses au rail, ne diffèrent entre eux que par le diamètre, la longueur de tige, par la hauteur du pas de filetage et la forme de la tête, suivant qu'elle doit être engagée dans une rainure longitudinale ou entre filets, ou maintenues par le bas sur le talon de la cornière. Certains sont munis au collet de deux ergots ou étoquiaux, qui leur donnent une section allongée dans le sens horizontal, et, en se logeant dans les entailles ovalisées des éclisses, maintiennent les boulons pendant le serrage de l'écrou. Nous avons vu que les éclisses à trous ovalisés ne se sont pas répandues ; par conséquent, il en a été de même des boulons à ergots destinés à les assembler.

Les éclisses des divers systèmes que nous avons décrits portent toutes quatre boulons ; les Compagnies sont donc définitivement d'avis de ne pas en réduire le nombre à moins de quatre et le diamètre à moins de 19 millimètres. Elles jugent, d'un autre côté, prudent de ne pas porter ce diamètre du corps à plus de 27 millimètres, à cause de l'affaiblissement de l'éclisse qui en résulterait et aussi de la difficulté de laisser, en contre-bas du champignon du rail, une hauteur suffisante pour le passage libre des boudins des roues. Ils paraissent avoir tous, d'ailleurs, les dimensions plus que suffisantes pour résister à la tension à laquelle ils sont soumis ; ces dimensions et celles des trous des rails ont été calculées et combinées par rapport à celles des trous des éclisses, de manière à assurer le jeu horizontal pour la dilatation et à permettre le jeu vertical pour la flexion et les irrégularités de la pose et de la fabrication comprises dans les limites ordinaires de la tolérance.

Pour empêcher le desserrage des boulons provoqué par les trépidations de l'assemblage sous l'action du passage du train, les Compagnies tiennent le pas du filet aussi serré et profond que possible, et certaines d'entre elles complètent la mesure par l'adjonction d'une rondelle de sûreté.

Rondelles et platines. — La rondelle de sûreté Grover est préférée par les Compagnies de l'Est, de Paris-Lyon-Méditerranée et d'Orléans, pour empêcher le desserrage produit par l'ébranlement de la voie sous le passage des trains.

Cette rondelle Grover est un simple anneau d'acier fondu, embouti de façon à faire ressort avec une bande totale de 2,000 kilogrammes pour l'aplatissement. Une fois en place et l'écrou énergiquement serré, elle tend, en vertu de son élasticité, à incliner cet écrou et à déterminer un certain coïncement de celui-ci sur la tige, qui assure le serrage complet et persistant du boulon sur les éclisses. Même dans le cas d'une légère usure des surfaces en contact, elle évite le ballotement qui peut se produire avec les rondelles ordinaires.

Nous ne parlerons que pour mémoire des platines en acier que la Compagnie de l'Est interpose entre le rail et la rondelle Grover. L'utilité n'en a pas encore paru bien démontrée aux autres Compagnies, ni l'efficacité incontestable, car aucune d'elles n'en a encore essayé l'emploi ni l'application.

Coussinets en fonte et coins en bois ou en acier. — Dans les voies en rails à double champignon des Compagnies du Midi, de l'Orléans et de l'Ouest, les barres sont portées par un coussinet en fonte logé dans une entaille à fond horizontal préparée sur chaque traverse, à laquelle le coussinet est fixé au moyen de deux tire-fond.

Entre les deux joues du coussinet, qui sont reliées à l'embase par des nervures transversales venues de fonte, se loge le rail dans une cavité ménagée dans la joue intérieure vers la voie et son coin de serrage. Ils ne réalisent, à eux deux, et cela suffit, le contact du rail qu'en trois points, au sommet et à la base de la joue et sur le fond du coussinet.

L'inclinaison du rail au 1/20 est obtenue par la forme même de la cavité du coussinet. Le coin, dont l'inclinaison des faces est de 1'25 environ, est en cœur de chêne de droit fil, bien sain et à tête fraisée.

Sur les lignes à deux voies, toujours parcourues dans le même sens, on chasse les coins : 1° dans le sens de la marche, en pleine voie, où les rails sur les deux files sont poussés en avant par les trains ; 2° dans la direction et aux abords des stations, où les freins sont mis en jeu ; 3° dans le sens même des déclivités, dans les fortes pentes, sur lesquelles les rails glissent vers les points bas.

Sur les lignes à voie unique, les coins sont chassés dans les deux directions à partir du milieu du rail et non pas en sens inverse sur chaque file de rails ; car, dans ce dernier cas, les traverses pourraient prendre une position oblique par rapport à l'axe de la voie, quand il faut diviser les joints.

Les coins sont placés à l'extérieur de la voie, pour ne pas gêner le passage des mentonnets des roues, et afin que la pression que ces bourrelets exercent

sur les rails soit transmise à la joue du coussinet par l'intermédiaire d'un corps compressible ; cette disposition permet de donner aux coins une plus grande hauteur et de les recouvrir de ballast pour les mettre à l'abri de la trop grande sécheresse. Ils se desserrent facilement, par suite des variations atmosphériques et des trépidations de la voie ; ils perdent de leur élasticité avec le temps ; ils doivent donc être fréquemment visités et resserrés.

Les coussinets ordinaires et les coins employés par les Compagnies du Midi, de l'Orléans et de l'Ouest, qui persistent à se servir du rail à double champignon, varient si peu comme forme, dispositions, poids et dimensions, d'une Compagnie à l'autre, qu'il est permis d'admettre que ces organes constitutifs donnent toute satisfaction au point de vue de la fixation, de l'attache et de l'arrêt de ce genre de voie.

Signalons, cependant, les essais que fait en ce moment la Compagnie de l'Ouest, de coins creux en acier doux de même forme extérieure que le coin en bois actuellement en service.

La Compagnie d'Orléans, pour empêcher le glissement des rails dans les fortes pentes, adapte à chaque traverse contre-joint un coussinet à quatre trous, et, à l'intérieur de la voie, une éclisse de 550 millimètres suffisamment longue pour venir buter contre l'aillette de ce coussinet spécial. La Compagnie du Midi fait de même, avec une éclisse intérieure de 540 millimètres, en conservant les coussinets de contre-joint à deux tire-fond.

La Compagnie de l'Ouest fait buter la partie inférieure d'une éclisse extérieure de 460 millimètres, renforcée par le bas, contre une oreille adaptée aux coussinets de contre joint, qu'elle conserve à deux tire-fond seulement.

Tire-fond. — Les efforts verticaux qu'un rail Vignoles doit supporter tendent, par la flexion de celui-ci, sous le passage d'une roue dans une portée, à soulever les attaches de la barre sur les traverses et à déterminer bientôt la séparation du rail et de ses appuis ; puis le relâchement, l'entraînement et les déformations de la voie. Les actions horizontales, de leur côté, sont susceptibles de produire le renversement du rail autour de l'arête extérieure du patin et le glissement de ce rail transversalement à la voie, dans le sens de la longueur de la traverse.

Il faut donc s'opposer énergiquement au glissement transversal du rail qui provoquerait l'ouverture de la voie et assurer l'application et le contact invariables et fixes et la solidarité intime de la barre avec la traverse, car seuls, ils peuvent empêcher la tendance du rail à l'entraînement, ainsi que le claquement et le

fouettement du patin dans son encoche et, par conséquent, la destruction du bois.

A cet effet, les Compagnies ont successivement expérimenté les crampons ou clous à crochet, à section uniforme dans la longueur; les crampons avec renflement à la partie inférieure; les crampons barbelés; les vis à bois à pas allongé s'enfonçant au marteau; les vis à bois à pas de 5 à 10 millimètres s'enfonçant à la clé; les boulons traversant la traverse et ayant leur écrou sous cette traverse.

Mais les vis, incapables de résister dans les bois tendres à l'effort de soulèvement vertical, mâchaient le bois sur toute la hauteur du trou; de même les écrous des boulons, sollicités par l'effort vertical, pénétraient dans la traverse et les boulons se desserraient; le resserrage était une opération longue et coûteuse, car il fallait dégager complètement la traverse. En somme, c'est encore les crampons qui avaient le mieux réussi, surtout avec des traverses en bois durs; mais avec des traverses tendres, ces crampons, sous l'influence des efforts latéraux, écrasaient les fibres formant les parois du trou, prenaient un jeu considérable et se soulevaient par la moindre action verticale; les bords du patin eux-mêmes venaient presser contre la face extérieure de l'entaille et ne tardaient pas à les désagréger, le calibre de la voie n'était plus maintenu et la circulation devenait détestable. Le mal s'accusait surtout dans les courbes, où le déplacement transversal devenait assez considérable pour faire sortir les crampons de leurs encoches.

Après bien des essais et pendant assez longtemps cependant, on a donné la préférence aux crampons avec les traverses en chêne, et aux vis avec les autres essences de bois. Mais aujourd'hui, sur toutes les grandes lignes du réseau français, le tire-fond galvanisé s'est exclusivement substitué, non seulement au crampon employé pour fixer le patin du rail Vignoles, mais encore à la chevillelette qui fixait le coussinet en fonte supportant le rail à double champignon.

Il y a peu de variation maintenant dans les types des tire-fond adoptés par les Compagnies françaises, comme dispositions et dimensions de tête, de tige et de filet, et ces diverses attaches semblent, jusqu'à ce jour, pleinement satisfaire aux conditions de solidité et de résistance à l'arrachement et aux efforts transversaux.

La disposition généralement adoptée pour le filet donne une plus grande résistance à l'arrachement que si le triangle générateur du filet était isocèle.

L'enfoncement des tire-fond par percussion est rigoureusement interdit; on rend d'ailleurs toute fraude impossible en faisant saillir sur la tête du tire-fond un caractère ou lettre en relief venu de forge qui, protégeant la tête, doit rester intact et dont l'altération trahirait le poseur fautif.

Arrêt du déplacement latéral. — Dans les lignes où circulent des trains lourds et rapides, la voie, comme nous l'avons dit précédemment, tend toujours à se déplacer latéralement sous les effets des pressions horizontales dans les courbes, et sous l'intensité des efforts latéraux qui s'ajoutent à ceux produits, dans le sens transversal, par le mouvement de lacet.

La Compagnie du Nord cherche à combattre ce mouvement de déformation par le moyen suivant :

Pour empêcher autant que possible le déplacement latéral des joints et des milieux des rails, elle relie deux à deux à leurs abouts les traverses placées de part et d'autre de chaque joint et milieu, par de petits madriers de 50 à 60 millimètres d'épaisseur et de 13 à 15 centimètres de largeur fixés après elles à l'aide de pointes de Paris de 14 centimètres de longueur, ou de clous barbelés de 1 sur 1 centimètre de section et de 15 centimètres de longueur, enfoncés dans une direction oblique à l'axe des traverses. Les pointes, au nombre de deux ou trois par about, selon la vitesse des trains et selon leur position à l'intérieur ou à l'extérieur des courbes, sont remplacées par des clous barbelés lorsque, par l'usure de la traverse, la résistance des pointes est insuffisante. Une pointe oppose à l'arrachement une résistance de 500 kilogrammes et un clou de 1,550 kilogrammes, soit trois fois plus.

Plaques de feutre. — Enfin, pour donner à la voie plus de douceur, on place sous le patin du rail et dans l'entaille, sur chaque traverse, une large plaque de feutre qui en assure l'élasticité et empêche le sable et l'humidité de pénétrer dans l'entaille des traverses.

Selles ou platines. — La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée emploie des selles ou platines. Ces pièces sont destinées, sur son réseau, à empêcher le patin du rail Vignoles de pénétrer dans les traverses, à consolider la voie, dans les courbes surtout, en répartissant, sur toutes les attaches intérieures et extérieures ainsi rendues solidaires sur la traverse, la pression latérale exercée par les trains ; à protéger les attaches contre l'usure produite par le frottement du patin lorsque, dans les vibrations qu'il subit sous les passages des trains, il vient s'appuyer contre le collet des tire-fond, et enfin, à s'opposer plus énergiquement au glissement longitudinal de la voie. Suivant elle, sous l'influence des efforts verticaux du patin, les fibres du bois s'écrasent, l'entaille s'approfondit ; sous les efforts latéraux, les bords de ce patin viennent presser entre les faces de l'entaille, intérieure dans les alignements droits, extérieure dans les

courbes, et ne tardent pas à les désagréger, puis à arracher ou renverser les tire-fond, à élargir la voie dans les courbes, à la rétrécir dans les alignements droits et à déterminer un déplacement transversal qu'il faut éviter.

Selles d'arrêt. — En outre, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, jugeant que l'éclisse cornière, dans certains cas, pourrait être insuffisante pour s'opposer au déplacement longitudinal des rails, a essayé d'introduire par longueur de 10 et de 12 mètres, à la place des selles ordinaires de joints, une et même deux selles d'arrêt. Ces selles plates portent un retour qui, formant cornière à l'extérieur de la voie, vient s'appliquer, comme une éclisse, verticalement contre l'âme du rail; elles sont fixées à la traverse par trois tire-fond, et, au rail, par un boulon qui en traverse l'âme et dont la tête à l'intérieur, et l'écrou à l'extérieur, reposent sur des rondelles Grover, de manière à empêcher le desserrage de l'écrou. Ces selles-arêts semblent devoir présenter un autre avantage très appréciable : celui de s'opposer, dans l'intervalle des joints, à la tendance au déversement du rail et au surécartement de la voie sous le passage des trains. Les éclisses cornières réalisent déjà cet avantage aux joints et l'on reconnaîtra, sans doute, à la suite des essais en cours, que leur effet, combiné avec celui des selles à talons sur toutes les traverses, suffit plus que largement, dans la généralité des cas, à maintenir la voie à son écartement normal.

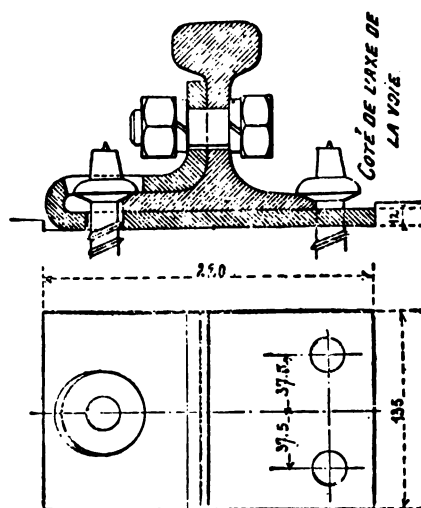


Fig. 1. — Selle-arrêt P. M.

DISPOSITIONS ET MATÉRIAUX

**employés pour la pose de voie et le mode de fixation, d'attache et d'arrêt des rails
sur les lignes des six grandes Compagnies françaises de chemins de fer.**

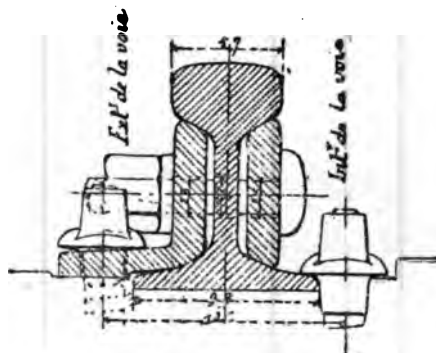
**Travail et résistance des rails et des éclisses assemblées
de ces voies diverses.**

| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMERE | | RAILS. | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porté-à-faux. | MODE DE FI | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------|--|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Lignes secondaires | peu chargées . . | 11 | 1,38 | Vignoles acier fondu. | 30 ^a 000 | 8 ^m 00 | 0 ^m 60 | 0 ^m 60 | Est. |
| | | | | | | | | | Traverses en chêne ou hêtre préparées . |
| | | | | | | | | | Tire-fond de 0 ^m 023 de diamètre au collet . |
| | | | | | | | | | Boulons d'éclisses de 0 ^m 023 de diamètre, à avec écrous |
| | | | | | | | | | Rondelles Grover de 0 ^m 006/0 ^m 0375. |
| | fréquentées . . | 16 | 1,33 | — | 30.000 | 12.00 | 6.00 | 0.60 | Éclisse ordinaire plate intérieure de 0 ^m 08 à trous ovalisés Éclisse cornière extérieure de $\frac{0^m08455}{0.750}$ se ti nant par le patin, à ses extrémités, sur l traverses contre-joints Traverses en chêne ou hêtre préparées . Tire-fond de 0 ^m 023 de diamètre au collet . Boulons d'éclisses de 0 ^m 023 de diamètre, à avec écrous Rondelles Grover de 0 ^m 006/0 ^m 0375. Éclisse ordinaire plate intérieure de 0 ^m 080 à trous ovalisés. Éclisse cornière extérieure de $\frac{0^m08455}{0.750}$ se ti nant par le patin, à ses extrémités, sur l traverses contre-joints. |

RE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|-------------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Fentre. | Total (ralls non compris). |
| 825.000 2 | Bois. | 103*125 | 4*663 | " | 4*140 | " | " | 111*923 |
| 16.170 | Fer. | | | | | | | |
| 2.480 | — | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 4.875 | — | | | | | | | |
| 11.565 | — | | | | | | | |
| 00.000 2 | Bois. | 103*000 | 4*333 | " | 2*700 | " | " | 107*093 |
| 23.520 | Fer. | | | | | | | |
| 2.480 | — | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 4.875 | — | | | | | | | |
| 11.565 | — | | | | | | | |

Fig. 2.

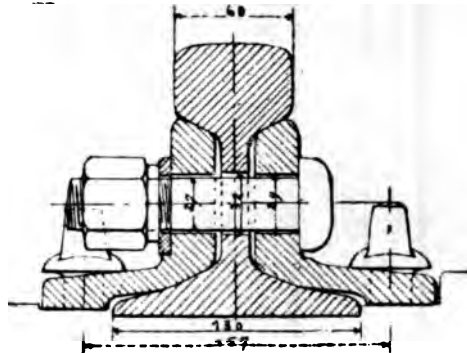


| Longueur du chevauchement. | | Longueur du porte-à-faux. | |
|---|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Longueur normale. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | Poids par mètre courant. |
| 41.50 | 12.0 | 6.00 | 0.55 |
| Traverses en chêne ou Tire-fond de 0 ^m 23 de Boulons d'échisses de écrous Rondelles Gravier de 1 Platinas de 0 ^m 50 0.05 Echisses cornières de se tire-fondant par les deux traverses | | 41.50 | 12.00 |
| | | 6.00 | 0.55 |
| | | 41.50 | 12.00 |
| | | 6.00 | 0.55 |
| Traverses en chêne ou Tire-fond de 0 ^m 23 de Boulons d'échisses de écrous Rondelles Gravier de 1 Platinas de 0 ^m 50 0.05 Echisses cornières de se tire-fondant par les deux traverses | | 41.50 | 12.00 |
| | | 6.00 | 0.55 |
| | | 41.50 | 12.00 |
| | | 6.00 | 0.55 |

DE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|-----------------|---------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|----------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (rails non compris). |
| 900,000 2 | Bois. | 75x000 | 3x670 | . | 5x903 | . | . | 84x573 |
| 18,620 | Fer. | | | | | | | |
| 3,400 | — | | | | | | | |
| 0,140 | Acier. | | | | | | | |
| 0,480 | — | | | | | | | |
| 34,800 | — | 87x500 | 4x100 | . | 5x903 | . | . | 97x503 |
| 1,050 (60) 2 | Bois. | | | | | | | |
| 21,560 | Fer. | | | | | | | |
| 3,400 | — | | | | | | | |
| 0,140 | Acier. | | | | | | | |
| 0,480 | — | | | | | | | |
| 34,800 | — | | | | | | | |

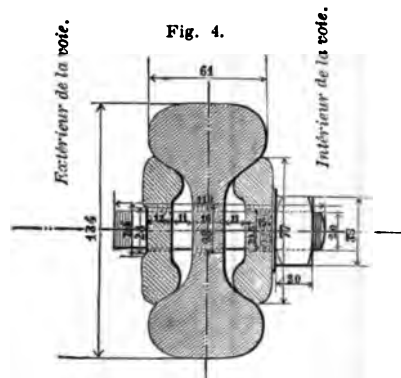
Fig. 3.



| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMBRE | | RAILS | | | Longueur du chevronnement. | Longueur du poteau-faîche. | MODE DE I |
|---|---------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | P |
| Midi. | | | | | | | | |
| Lignes secondaires . | 6 | 1.061 | Double chaîn- gout acier Lodu. | 37*600 | 5*50 | . | 7*00 | Traverses |
| | | | | | | | | Coins en bois de 0*049 0*065 0*250. . . |
| | | | | | | | | Tire-fond |
| | | | | | | | | Boulons de 0*030 de diamètre et écrous |
| | | | | | | | | Coussinets ordinaires à deux trous . . |
| | | | | | | | | Rondelles de 0*002 0*044 |
| | | | | | | | | Éclisse plate extérieure de 0*077/0*450 |
| | | | | | | | | Éclisse plate intérieure allongée de 0 sans rainure, butant par son extrémité lette du coussinet contre-joint . . . |
| | | | | | | | | Traverses |
| | | | | | | | | Coins en bois de 0*049 0*068 0*250. . . |
| Lignes à express et chargées | 14 | 1.273 | — | 37*600 | 11*00 | . | 6*00 | Tire-fond |
| | | | | | | | | Boulons de 0*030 de diamètre et écrous |
| | | | | | | | | Coussinets ordinaires à deux trous . . |
| | | | | | | | | Rondelles de 0*002 0*044 |
| | | | | | | | | Éclisse plate extérieure de 0*077/0*450 |
| | | | | | | | | Éclisse plate intérieure de 0*077/0*540 sans butant par son extrémité sur l'aillette sinet du contre-joint. |

ACHE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|--------------|---------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Fentre. | Total (sans non compté). |
| 450 2 | Bois. | | | | | | | |
| 5.400 | — | | | | | | | |
| 5.280 | Fer. | | | | | | | |
| 1.780 | — | | | | | | | |
| 62.400 | Fonte. | 83*782 | 2*568 | . | 3*334 | 22*602 | . | 112*386 |
| 0.072 | Acier. | | | | | | | |
| 4.100 | — | | | | | | | |
| 5.000 | — | | | | | | | |
| 1.050 2 | Bois. | | | | | | | |
| 12.600 | — | | | | | | | |
| 12.320 | Fer. | | | | | | | |
| 1.780 | — | | | | | | | |
| 208.000 | Fonte. | 97*745 | 2*564 | . | 1*688 | 36*908 | . | 138*885 |
| 0.072 | Acier. | | | | | | | |
| 4.100 | — | | | | | | | |
| 5.000 | — | | | | | | | |



| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMBRE | | RAILS. | | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE F. |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------------------------------|--|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | | |
| Lignes secondaires. | Ancienne pose | 10 | 1 25 | Vignoles acier fondu. | 31.00 | 8.00 | (m.00) | | Nord. |
| | | | | | | | | | Traverses en chêne blanc ou en hêtre en 0°15/0°25, 2°50 |
| | | | | | | | | | Tire-fond de 0°023 de diamètre au collet. |
| | | | | | | | | | Boulons d'éclisses de 0°019 de diamètre méplate avec écrous |
| | | | | | | | | | Coins d'arrêt de 0°0.6/0°015/0°075 à queue |
| | | | | | | | | | Rondelles de 0°0025/0°0400 de diamètre |
| | Nouvelle pose | 10 | 1 25 | — | 30.30 | 8.00 | 4.00 | (m.00) | Eclisse plate intérieure de 0°0825/0°450 méplate |
| | | | | | | | | | Eclisse plate extérieure de 0°0825/0°450 méplate |
| | | | | | | | | | Feutres en dessus du patin du rail sur traverse |
| | | | | | | | | | Traverses en chêne blanc ou en hêtre en 0°15/0°25, 2°50 |
| | | | | | | | | | Liernes de 0°0.5/0°14/1°25 des traverses et de milieux |
| | | | | | | | | | Tire-fond de 0°023 de diamètre au collet. |
| | | | | | | | | | Boulons d'éclisses de 0°023 de diamètre à avec écrous |
| | | | | | | | | | Plaques d'arrêt de 0°0.0/0°075/0°215 butant le tire-fond de la traverse contre-joint |
| | | | | | | | | | Clous barbelés de 0°01/0°01/0°15 pour liernes sur les abouts des traverses |
| | | | | | | | | | Rondelles de 0°0025/0°045 de diamètre |
| | | | | | | | | | Eclisse plate extérieure de 0°084/0°520 ovalisée |
| | | | | | | | | | Eclisse plate intérieure ordinaire de 0°084 ovalisée |
| | | | | | | | | | Feutres en dessous du patin du rail sur traverse |

ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

PAR MÈTRE COURANT DE VOIE.

| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (rails non compris). |
|--------------|---------|--------|-------|---------------------|--------|--------|---------|-------------------------------|
| 750,000 2 | Bois. | | | | | | | |
| 10 780 | Fer. | | | | | | | |
| 1.580 | — | | | | | | | |
| 0.092 | — | | | | | | | |
| 0 080 | Acier. | | | | | | | |
| 4.160 | — | | | | | | | |
| 4.260 | — | | | | | | | |
| 0.650 | Feutre. | | | | | | | |
| | | 99*750 | 3*113 | • | 2*125 | • | 0*163 | 99*151 |
| 750 2 | Bois. | | | | | | | |
| 14.000 | — | | | | | | | |
| 9.800 | Fer. | | | | | | | |
| 1.692 | — | | | | | | | |
| 1.560 | — | | | | | | | |
| 1.128 | — | | | | | | | |
| 0.080 | Acier. | | | | | | | |
| 10.760 | — | | | | | | | |
| 0.650 | Feutre. | | | | | | | |
| | | 97*250 | 3*545 | • | 2*710 | • | 0*163 | 103*668 |

Fig. 5.

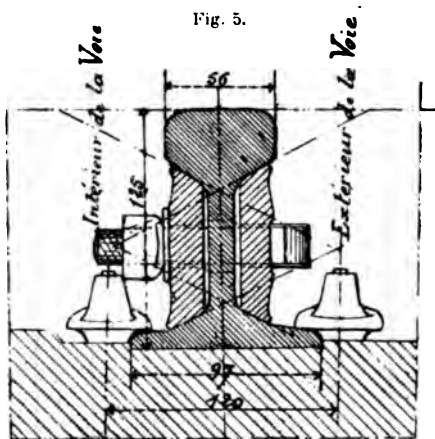
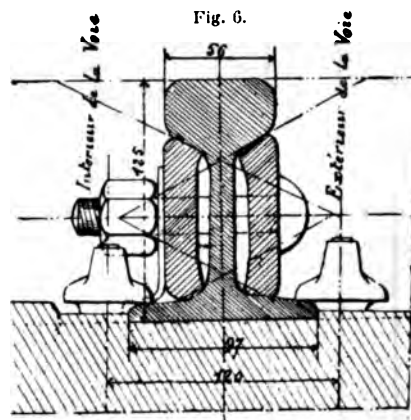


Fig. 6.

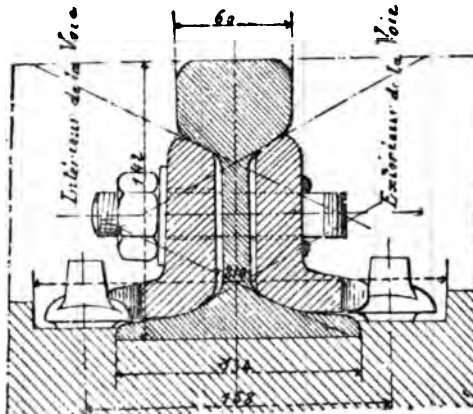


| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMBRE | | RAILS. | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|---|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | | |
| Lignes à express | fréquentées . . | 12 | 1.00 | Vignole acier fondu. | 43.215 | 12.00 | " | 0.70 | Nord (suite). Traverses en chêne blanc ou en hêtre de 0.15/0.25/2.50 Liernes de 0.05/0.14/1.25 des traverses de milieux Tire-fond de 0.023 de diamètre au collet Boulons d'éclisses de 0.025 de diam écrous Clous barbelés de 0.01/0.01/0.15 pour liernes sur les abouts des traverses. Rondelles de 0.003/0.055 de diamètre. Eclisse cornière extérieure de 0.0945 filets, butant contre le tire-fond de la contre-joint Eclisse cornière intérieure de 0.0945 filets, butant contre le tire-fond de la contre-joint Fentes en dessous du patin du rail sur traverse. |
| | très chargées. . | 14 | 1.17 | — | 43.215 | 12.00 | " | 0.70 | Traverses en chêne blanc ou en hêtre de 0.15/0.25/2.50 Liernes de 0.05/0.14/1.25 de traverses de milieux Tire-fond de 0.023 de diamètre au collet Boulons d'éclisses de 0.025 de diam écrous Clous barbelés de 0.01/0.01/0.15 pour liernes sous les abouts des traverses Rondelles de 0.003/0.055 de diamètre. Eclisse cornière extérieure de 0.0945 filets, butant contre le tire-fond de la contre-joint Eclisse-cornière intérieure de 0.0945 filets, butant contre le tire-fond de la contre-joint Fentes en dessous du patin du rail sur traverse. |

BACHE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

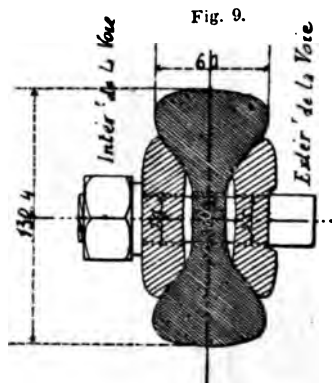
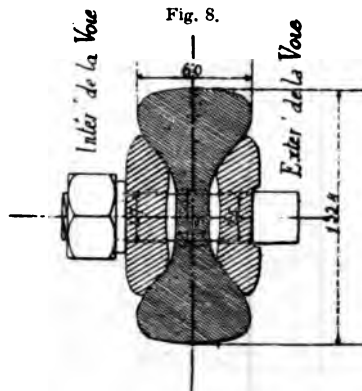
| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|----------------|---------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (règle non complète). |
| 900 00 2 | Bois. | | | | | | | |
| 14.000 | — | | | | | | | |
| 11.664 | Fer. | | | | | | | |
| 3.040 | — | | | | | | | |
| 1.128 | — | | | | | | | |
| 0.180 | Acier. | 77x333 | 2x639 | " | 4x287 | " | 0x130 | 84x389 |
| 12.640 | — | | | | | | | |
| 12 925 | — | | | | | | | |
| 0.780 | Feutre | | | | | | | |
| 1,050.000 2 | Bois. | | | | | | | |
| 14.000 | — | | | | | | | |
| 13.608 | Fer. | | | | | | | |
| 3.040 | — | | | | | | | |
| 1.128 | — | | | | | | | |
| 0.180 | Acier. | 89x833 | 2x963 | " | 4x287 | " | 0x152 | 97x235 |
| 12.640 | — | | | | | | | |
| 12.925 | — | | | | | | | |
| 0.910 | Feutre. | | | | | | | |

Fig. 7.



| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMBRE | | RAILS. | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE F |
|--|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|--|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | |
| Lignes secondaires . | 12 | 1.091 | Double champignon acier fondu. | 38.200 | 11.00 | " | 0.60 | <p>Orléans.</p> <p>Traverses en chêne</p> <p>Coins en bois de 0°054 0°03/0°280 . . .</p> <p>Tire-fond de 0°019 de diamètre au colle</p> <p>Boulons d'éclisses, à tête meplate de 0°0 mètre, avec écrous</p> <p>Coussinets ordinaires de 0°112 0°300, à de</p> <p>Rondelles Grover de 0°005 0°038 . . .</p> <p>Éclisse plate extérieure de 0°084 0°450, à</p> <p>Éclisse plate intérieure de 0°084 0°450, à nure</p> |
| Lignes à express char- gées ou à fortes rampes | 14 | 1.273 | — | 38.200 | 11.00 | " | 0.63 | <p>Traverses en chêne</p> <p>Coins en bois de 0°054 0°063 0°280 . . .</p> <p>Tire-fond de 0°019 de diamètre au collet.</p> <p>Boulons d'éclisses, à tête meplate de 0°02 mètre, avec écrous</p> <p>Coussinets ordinaires de 0°112 0°300, à de sur traverses intermédiaires</p> <p>Coussinet spécial de 0°150 0°260, à quat sur les traverses contre-joint.</p> <p>Rondelles Grover de 0°055 0°038 . . .</p> <p>Éclisse plate extérieure de 0°084 0°450, à</p> <p>Éclisse plate intérieure allongée de 0° sans rainure, butant, par ses extremi oreilles des coussinets de contre-joint .</p> |

| PNE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES. | | | | | | | | |
|---|---------|--------|-------|---------------------|--------|--------|---------|---------------------------|
| PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | | | |
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Fentre. | Total (rais non compris). |
| 900.000 2 | Bois. | | | | | | | |
| 6.000 | — | | | | | | | |
| 7.585 | Acier. | | | | | | | |
| 2.731 | Fer. | | | | | | | |
| 116.400 | Fonte. | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 9.200 | — | | | | | | | |
| | | 829.0 | 0.496 | " | 3.003 | 21.164 | " | 107.662 |
| 1.050 2 | Bois. | | | | | | | |
| 7.000 | — | | | | | | | |
| 8.850 | Acier. | | | | | | | |
| 2.731 | Fer. | | | | | | | |
| 126.100 | Fonte. | | | | | | | |
| 9.500 | — | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 4.100 | — | | | | | | | |
| 6.110 | — | | | | | | | |
| | | 907.28 | 0.497 | " | 3.457 | 24.634 | " | 125.365 |



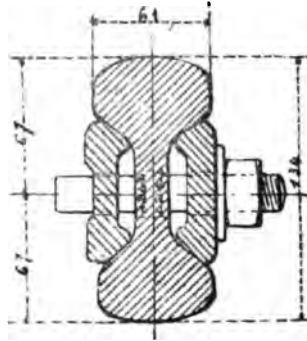
| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. NOMBRE | | RAILS. | | | Longueur du chevalement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE FE |
|---------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | POT |
| Lignes secondaires . | 9 | 1.125 | Douglas champion acier fondu. | 38x75/1 | 8.00 | " | 0.00 | <p align="center">Ouest.</p> <p>Traverses en chêne</p> <p>Coins en bois</p> <p>Tire-fond</p> <p>Boulons d'éclisses de 0.025 de diamètre avec écrous</p> <p>Coussinets ordinaires intermédiaires. .</p> <p>Coussinet contre-joint à ailettes . . .</p> <p>Rondelles.</p> <p>Éclisse extérieure plate ordinaire de 0.08</p> <p>Éclisse intérieure renforcée de 0.140/0.08 ovalisées et dont les extrémités butent ailettes du coussinet contre-joint . .</p> <p>Traverses en chêne</p> <p>Coins en bois</p> <p>Tire-fond.</p> <p>Boulons d'éclisses de 0.025 de diamètre avec écrous</p> <p>Coussinets ordinaires intermédiaires. .</p> <p>Coussinet contre-joint à ailettes . . .</p> <p>Rondelles.</p> <p>Éclisse extérieure plate ordinaire de 0.08</p> <p>Éclisse intérieure renforcée de 0.140/0.08 extrémités butent sur les ailettes des contre-joints</p> |
| Lignes à express . . | 10 | 1.25 | — | 38 750 | 8.00 | " | 0.60 | |

RE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

PAR MÈTRE COURANT DE VOIE.

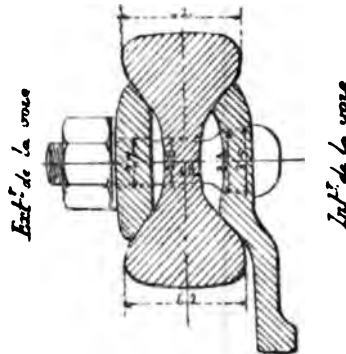
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (sans ses compés). |
|--------------|---------|-------|------|---------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|
|--------------|---------|-------|------|---------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|

Fig. 10.



| | | | | | | |
|--------|-------|---|-------|--------|---|---------|
| 85x905 | 2x330 | " | 3x105 | 22x500 | " | 113x840 |
|--------|-------|---|-------|--------|---|---------|

Fig. 11.



| | | | | | | |
|--------|-------|---|-------|--------|---|---------|
| 85x905 | 2x510 | " | 3x105 | 25x000 | " | 126x065 |
|--------|-------|---|-------|--------|---|---------|

| Poids | | P.A.T.S. | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE F |
|----------------------|-----------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---|
| par mètre courant | à l'unité | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | |
| | | | | | | Ouest (suite). |
| | | 30.300 | 8.00 | | 0.60 | Traverses en chêne |
| | | | | | | Coin en bois. |
| | | | | | | Tire-fond de 0.14 de longueur pour coussinets |
| | | | | | | Tire-fond de 0.115 de longueur pour d'éclisses |
| | | | | | | Boulons d'éclisses de 0.022 de diamètre avec écrous |
| | | | | | | Coussinets de 0.130 0.225 |
| | | | | | | Rondelles de 0.002 0.042 |
| | | | | | | Eclisse extérieure plate ordinaire de 0.08 à trous ovalisés |
| | | | | | | Eclisse cornière intérieure de 0.065 0.07 le patin, aux extrémités, se tire-fonde deux traverses contre-joint |
| | | 30.300 | 8.00 | | 0.60 | Traverses en chêne |
| | | | | | | Tire-fond de 0.021 de diamètre au collet. |
| | | | | | | Boulons d'éclisses de 0.022 de diamètre avec écrous |
| | | | | | | Rondelles de 0.002 0.042 |
| | | | | | | Eclisse extérieure plate ordinaire de 0.083 à trous ovalisés |
| | | | | | | Eclisse cornière intérieure de 0.065 0.07 le patin, aux extrémités, se tire-fonde deux traverses contre-joint |

ACHE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|--------------|---------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|----------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (rails non compris). |
| 750.000 | Bois. | | | | | | | |
| 2 | — | | | | | | | |
| 5.440 | — | | | | | | | |
| 8.640 | Fer. | | | | | | | |
| 2.040 | — | | | | | | | |
| 1.920 | — | | | | | | | |
| 108 000 | Fonte. | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 15 750 | — | | | | | | | |
| | | 95*110 | 3*150 | . | 3*908 | 27*000 | . | 129*228 |
| 750 | Bois. | | | | | | | |
| 2 | — | | | | | | | |
| 7.480 | Fer. | | | | | | | |
| 1.520 | — | | | | | | | |
| 0.120 | Acier. | | | | | | | |
| 4.025 | — | | | | | | | |
| 11.625 | — | | | | | | | |
| | | 93*750 | 2*350 | . | 3*945 | . | . | 100*045 |

Fig. 12.

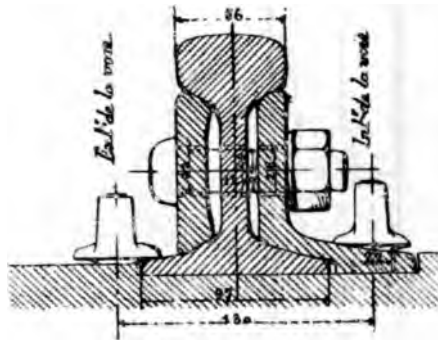
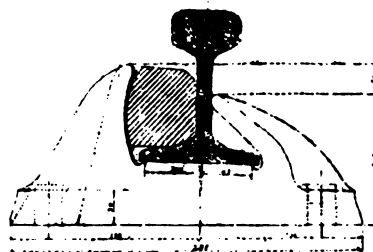


Fig. 13.



| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. — NOMBRE | | RAILS. | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE FI |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | |
| Lignes secondaires | peu chargées. . | 11 | 1.10 | Vignoles acier fondu. | 34.200 | 10.00 | 0.60 | Paris-Lyon-Méditerran |
| | | | | | | | | Traverses en chêne ou hêtre Écrous de boulons d'éclisses. . . . Boulons d'éclisses de 0 ^m 025 de diamètre . Tire-fond de 0 ^m 021 de diamètre au collet. Rondelles Grover de 0 ^m 006 0 ^m 030 Selles d'appui de 0 ^m 130 0 ^m 150. . . . Éclisse cornière intérieure de 0 ^m 0662 0 ^m 06 Éclisse cornière extérieure de $\frac{0^m0981}{0.725}$ m d'arrêt et dont le patin, aux extrémités fonce sur les deux traverses contre-join |
| | fréquentées . . | 12 | 1.20 | — | 31.200 | 10.10 | 0.60 | Traverses en chêne ou hêtre. . . . Ecrous de boulons d'éclisses Boulons d'éclisses de 0 ^m 025 de diamètre . Tire-fond de 0 ^m 021 de diamètre au collet. Rondelles Grover de 0 ^m 006 = .81 Selles d'appui de 0 ^m 150 0 ^m 180 Eclisses cornières de $\frac{0^m0981}{0.725}$ avec talon et dont le patin, aux extrémités, se ti sur les deux traverses contre-joint . |

II C

37

CHÈRE ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|--------------|------------|----------------------------|-------|---------------------|--------|--------|---------|------------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Feutre. | Total (sans les copeaux). |
| 825.000 2 | Bois. | | | | | | | |
| 0.516 | Fer. | | | | | | | |
| 2.524 | Fer fondu. | | | | | | | |
| 620 | Acier. | | | | | | | |
| 120 | — | | | | | | | |
| 28.105 | — | | | | | | | |
| 6.620 | — | | | | | | | |
| 10.540 | | | | | | | | |
| | | 82500 | 0x103 | 0x505 | 11x9 1 | - | - | 93x109 |
| 900.000 2 | Bois. | | | | | | | |
| 0.516 | Fer. | | | | | | | |
| 2.524 | Fer fondu. | | | | | | | |
| 10.360 | Acier. | | | | | | | |
| 0.120 | — | | | | | | | |
| 30.600 | — | | | | | | | |
| 21.060 | — | | | | | | | |
| | | 90x000 | 0x103 | 0x505 | 12x432 | " | " | 103x040 |

Fig. 14.

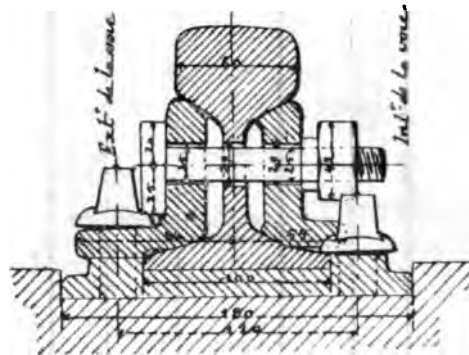
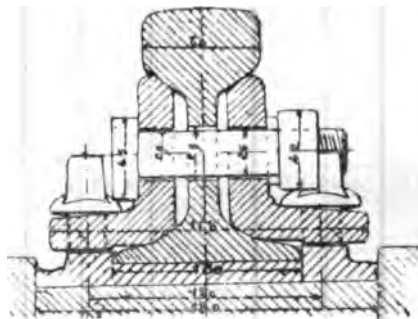
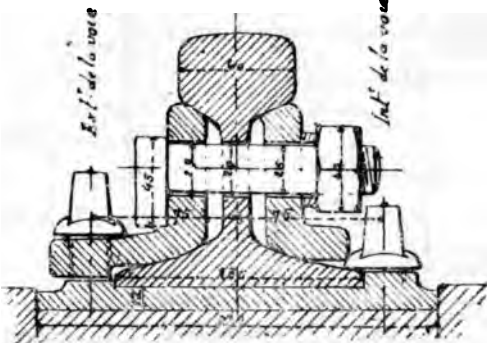
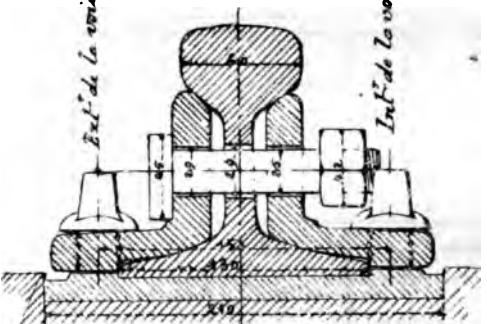


Fig. 15.



| CLASSEMENT DES LIGNES. | TRAVERSES. NOMBRES | | RAILS. | | | Longueur du chevauchement. | Longueur du porte-à-faux. | MODE DE |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---|
| | par rail. | par mètre courant de voie. | Type et nature du métal. | Poids par mètre courant. | Longueur normale. | | | |
| Lignes à express et à grand trafic | chargées . . . | 14 | 1.17 | Vignoles® acier fondu. | 38.800 | 12.00 | 0.60 | Paris-Lyon-Méditerranée Traverses en chêne ou hêtre . . . Écrous de boulons d'éclisses . . . Boulons d'éclisses de 0.025 de diamètre Tire-fond de 0.021 de diamètre au col Rondelles Grover de 0.006, 0.039 . . . Selles d'appui de 0.150 0.210 . . . Éclisse cornière intérieure de 0.09 818 Éclisse cornière extérieure de $\frac{0.09331}{0.750}$ d'arrêt et dont le patin aux extrémités fonce sur les deux traverses contre-joint |
| | très chargées. . | 14 | 1.17 | — | 38.800 | 12.00 | 0.60 | Traverses en chêne ou hêtre . . . Écrous de boulons d'éclisses . . . Boulons d'éclisses de 0.025 de diamètre Tire-fond de 0.021 de diamètre au col Rondelles Grover de 0.006, 0.039 . . . Selles d'appui de 0.150 0.210 . . . Éclisses cornières de $\frac{0.09331}{0.750}$ avec talon et dont le patin aux extrémités se sur les deux traverses contre-joint |

IN ET D'ARRÊT DE LA VOIE. DÉTAIL ET POIDS DES PIÈCES DIVERSES.

| | | PAR MÈTRE COURANT DE VOIE. | | | | | | |
|--------------|------------|--|-------|---------------------|--------|--------|---------|-------------------------------|
| Poids total. | Nature. | Bois. | Fer. | Fer fondu soudable. | Acier. | Fonte. | Fentre. | Total (rails non compris). |
| Fig. 16. | | | | | | | | |
| 1.050,000 | Bois. |  | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 0 516 | Fer. | | | | | | | |
| 2.524 | Fer fondu. | | | | | | | |
| 11.840 | Acier. | | | | | | | |
| 0.120 | — | | | | | | | |
| 42.000 | — | | | | | | | |
| 6.620 | — | | | | | | | |
| | | 87*500 | 0*086 | 0*121 | 12*047 | " | " | 100*054 |
| 11.700 | — |  | | | | | | |
| 1.050,000 | Bois. | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 0.516 | Fer. | | | | | | | |
| 2.524 | Fer fondu. | | | | | | | |
| 11 840 | Acier. | | | | | | | |
| 0.120 | — | | | | | | | |
| 42.000 | — | | | | | | | |
| 23 40 : | — | | | | | | | |
| | | 87*500 | 0.086 | 0*121 | 12*803 | " | " | 100*900 |

| TRAVAIL ET RÉSISTANCE DES RAILS | RAILS VIGNOLES | | | |
|---|-----------------------|-------------------|---------------|-------------|
| | EST. | | NORD. | |
| | 30k000. | 44k200. | 30k300. | 44k200. |
| Surface de la section. | 0.003,932 | 0.005,704,45 | 0.003,850 | 0.005,522,8 |
| Stabilité sur la base. Rapport de la hauteur totale à la largeur de la base. | 1.212, 2 | 1.846,154 | 1.289,659 | 1.059,708 |
| Distance du centre de gravité au sommet V. | 0.059,34 | 0.073,36 | 0.061,550 | 0.0744 |
| — — à la base V'. | 0.060,66 | 0.067,64 | 0.063,450 | 0.0676 |
| Moment d'inertie I (sens vertical) | 0 000,007,423,770 | 0.000,014,768,395 | 0.000,007,950 | 0.000,014,6 |
| — de résistance au sommet $\frac{I}{V}$ | 0.000,125,165,677 | 0.000,201,314,005 | 0 000,1291 | 0.000,197,1 |
| — — à la base $\frac{I}{V'}$ | 0.000,122,383,296 | 0.000,218,338,194 | 0.000,123,3 | 0.000,216,9 |
| Distance du centre de gravité au bord du patin V _I (pour les rails Vignoles) | 0.0495 | 0.0650 | 0.0485 | 0.067 |
| Distance du centre de gravité au bord du champignon V _I (pour les rails à double champignon) | " | " | " | " |
| Moment d'inertie II (sens transversal) | 0.000,001,268,974,435 | 0.000 002,879,776 | 0.000,001,07 | 0.000,002,5 |
| — de résistance $\frac{II}{V_I}$ au bord du patin V _I (pour les rails Vignoles) | 0.000,025,635,85 | 0.000,044,304,246 | 0.000,021,9 | 0.000,042,2 |
| Moment de résistance $\frac{II}{V_I}$ au bord du champignon V _I (pour les rails à double champignon) | " | " | " | " |

2

| TRAVAIL ET RÉSISTANCE DES ÉCLISSES COUPLÉES. | COUPE DES ÉCLISSES ASSEMBLÉES POUR | | | | | |
|---|------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------|
| | EST. | | NORD. | | | OUEST |
| | 30k000. | 44k200. | 30k300. | | 44k215. | 30k300. |
| | A patin simple. | A patin double. | Avec coin d'arrêt. | Avec cale d'arrêt. | A cornière échancrée. | Sur coussin |
| Surface de la section. | 0.002,414,160 | 0.005,970,8 | 0.001,914,392,5 | 0.001,939,74 | 0.003,9.7 | 0.002,572,7 |
| Distance du centre de gravité au sommet V. | 0.050,000 | 0.058,3 | 0 041,315 | 0.042 | 0.058,500 | 0.056,3 |
| Distance du centre de gravité à la base V'. | 0.034,55 | 0.035,73 | 0 041,315 | 0.042 | 0.036,358 | 0 032,665 |
| Moment d'inertie I (sens vertical) | 0.000,001,911,23,1 | 0.000,004,214,456 | 0 000,000,886,961 | 0.000,001,345,461 | 0.000,003,772,503 | 0.000,002,4 |
| — de résistance au sommet $\frac{I}{V}$ | 0.000,038,225 | 0.000,073,142,444 | 0.000,021,468 | 0 000,031,634 | 0 000,064,488 | 0.000,043,6 |
| Moment de résistance à la base $\frac{I}{V'}$ | 0 000,055,318 | 0.000,118,792,500 | 0.000,021,468 | 0.000,034,634 | 0.000,103,76 | 0.000,061,6 |

stance.

| N. | | | RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON AF. | | | OBSERVATIONS. |
|-------------|--------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|--|
| OUEST. | PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE. | | MIDI. | ORLÉANS. | OUEST. | |
| 30k200. | 34k200. | 38k800. | 37k000. | 38k200. | 38k750. | |
| 103,850 | 0.004,372 | 0.004,971,8 | 0.004,866,761,25 | 0.004,868,790 | 0.004,964,25 | Éléments déterminés par la méthode graphique sur épures à double grandeur. |
| 128,659 | 1.236,300 | 1.000,000 | 0 676,692 | 0.574,667 | " | |
| 161,550 | 0.062,880 | 0.070,02 | 0.067 | 0.0662 | 0.065 | |
| 163,450 | 0.065,75 | 0.059,98 | 0.067 | 0.0662 | 0.065 | |
| 160,077,950 | 0.000,009,5 | 0.000,011,183 | 0.000,007,976,299 | 0.000,000,289,289 | 0.000,009,625,6 | |
| 100,129,1 | 0.000,152 | 0.000,159,730 | 0.000,119,049 | 0.000,014,030,6 | 0 000,148,686 | |
| 00,125,3 | 0.000,145 | 0.000,184,974 | 0.000,119,049 | 0.000,014,030,6 | 0.000,148,086 | |
| 1435 | 0.050 | 0.065 | " | " | " | |
| " | " | " | 0.0305 | 0.0300 | 0.0310 | |
| 01,011,07 | 0.000,001,332 | 0.000,002,6 | 0.000,001,007,674 | 0.000,000,598,835 | 0.000,000,991,213 | |
| 100,021,9 | 0.000,026,12 | 0.000,040,0 | " | " | " | |
| " | " | " | 0.000,003,070 | 0.000,299,632 | 0.000,031,974,613 | |

125.

| RAILS A.F. A PATIN. | | | | COUPE DES ÉCLISSES ASSEMBLÉES POUR VOIES A DOUBLE CHAMPIGNON AF. | | | OBSERVATIONS. |
|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------|--|
| PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE | | | | MIDI. | ORLÉANS. | OUEST. | |
| 34k200. | | 38k800. | | 37k000. | 38k200. | 38k750. | |
| En simple. | A patin double. | A patin simple. | A patin double. | Ordinaire. | Ordinaire. | Ordinaire. | Éléments déterminés par la méthode graphique sur épures à double grandeur. |
| 135,31 | 0.003,656,625 | 0 003,492,810 | 0.004,232,06 | 0.002,103,812,5 | 0.001,943,660 | 0.002,630,880 | |
| 00 | 0.060,50 | 0.058,8 | 0 064,50 | 0.038,5 | 0.042,0 | 0.066,7 | |
| 81 | 0.030,31 | 0.034,51 | 0.028,81 | 0.035,5 | 0.042,0 | 0.073,3 | |
| 102,729,339 | 0.000,003,367,1755 | 0.000,003,211,178 | 0.000,003,355,115 | 0.000,001,248,607 | 0.000,001,343,313 | 0.000,004,049,399 | |
| 148,738 | 0.000,055,656,9 | 0.000,051,611 | 0.000,052,482 | 0.000,032,434 | 0.000,031,936 | 0 000,060,710 | |
| 178,406 | 0.000,111,091 | 0.000,093,050 | 0.000,117,407 | 0.000,032,434 | 0.000,031,976 | 0.000,055,244 | |

Les deux tableaux précédents donnent encore le moyen facile, simple et commode, d'étudier et de comparer très approximativement, autant, bien entendu, que l'on ne compare que des profils analogues, la résistance et la raideur des différents types.

Convenablement interprétés, ils donnent lieu à d'intéressantes remarques sur la relation qui existe entre :

1° La résistance aux pressions verticales et latérales dans le sens vertical et dans le sens transversal ;

2° La stabilité sur la base ou tendance au renversement ;

3° La pression exercée par la base sur les traverses sous la même charge ;

4° Les efforts tranchants, d'extension et de compression ; les efforts de glissements longitudinaux et transversaux ; le travail maximum ; les fatigues moléculaires des fibres au sommet et au patin, proportionnées aux charges d'un poids déterminé supportées à l'état statique et à l'état de mouvement, pour des vitesses de marche données et des machines d'un type connu et indiqué ; par exemple, dans l'hypothèse d'une roue de 7,000 kilogrammes (moitié du poids maximum sur l'essieu le plus chargé dans les machines en service actuellement, marchant à 90 kilomètres à l'heure), au joint des rails entre traverses contre-joints espacées de 60 ou de 65 centimètres ;

5° Enfin, la durée moyenne des rails, ou résistance moyenne à une circulation d'un tonnage donné, jusqu'à l'usure maxima,

Comparés avec le poids du rail de chaque profil, celui de ses attaches et le nombre de ses appuis.

Autres chemins de fer.

Nous venons d'exposer les divers et principaux systèmes de fixation, d'attache et d'arrêt employés par les principales Compagnies françaises. Nous allons, de même, exposer parmi les systèmes employés par d'autres chemins de fer ceux qu'il nous a été donné d'examiner par le peu de documents qui nous sont parvenus.

COMPAGNIE PRIVILÉGIÉE DU CHEMIN DE FER DU SUD (AUTRICHE).

Dans le système le plus nouveau de pose avec des rails Vignoles en acier fondu de 10 mètres de longueur, on emploie, du côté extérieur du rail, des éclisses cornières à patins de 590 millimètres de longueur pesant 9^k710 pièce, et du côté intérieur, des éclisses ordinaires droites de 550 millimètres de longueur pesant 4^k700.

Les premières, au moyen d'encoches percées à chaque extrémité, peuvent recevoir deux crampons enfoncés dans les traverses contre-joints et s'opposer ainsi au cheminement des rails.

Quatre boulons de 22 millimètres de diamètre serrant énergiquement les rails entre les deux éclisses conjuguées assurent à chaque joint l'assujettissement des uns avec les autres. Des rondelles à ressort ou anneaux emboutis, placées entre la face intérieure de l'éclisse ordinaire et les écrous des boulons, s'opposent efficacement au desserrage de ces boulons d'éclisses.

Cet éclissage, au dire de la Compagnie qui l'emploie, est solide et répond bien aux conditions de stabilité, de solidité et de résistance qu'exige l'assemblage bout à bout des rails à leurs joints.

CHEMINS DE FER NÉERLANDAIS.

1^o Voie sur traverses en chêne.

Les rails Vignoles acier fondu de 40 kilogrammes le mètre et de 9 mètres de longueur, employés pour ces chemins de fer, sont posés sans inclinaison aucune sur 10, 11 ou 12 traverses, suivant les cas, en joints en porte-à-faux, alternés dans les deux files de la moitié de la longueur d'un rail sur l'autre.

Les traverses contre-joint sont toujours espacées de 550 millimètres d'axe en axe, et reçoivent chacune, pour maintenir le patin du rail, une sellette en acier de 1 centimètre d'épaisseur percée de quatre trous dans lesquels passent des crampons.

Les rails sont fixés sur les traverses intermédiaires au moyen de deux crampons en fer et reliés l'un à l'autre, bout à bout, au moyen de deux éclisses en acier de 760 millimètres de longueur et de formes différentes (voir croquis ci-contre); l'éclisse extérieure, qui reçoit la tête des boulons, et l'éclisse intérieure, qui sert d'appui à l'écrou, sont percées de trous carrés pour le passage des quatre boulons de 25 millimètres de diamètre assemblant les bouts des rails avec les éclisses conjuguées.

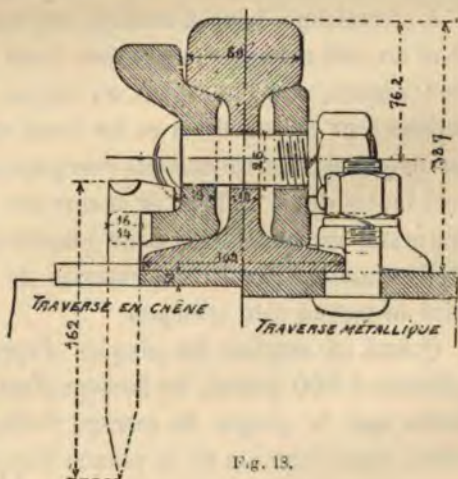


Fig. 13.

Une rondelle à ressort ou anneau embouti, placée entre la face intérieure de l'éclisse intérieure et l'écrou des boulons, en empêche le desserrage.

La cornière inférieure des éclisses est percée d'encoches, dans lesquelles s'engage la tige carrée des crampons, pour empêcher le glissement longitudinal des rails.

2° Voies sur traverses métalliques en Γ .

Les mêmes rails sont posés sans inclinaison, en joints en porte-à-faux et alternés comme dans la voie précédente et sur le même nombre de traverses. Ils sont fixés sur les traverses contre-joints espacées de 452 millimètres, et sur celles intermédiaires au moyen de deux crapauds en fonte et de boulons en acier Martin (voir croquis ci-dessus).

Des rondelles formant ressort sont placées sur les crapauds en fonte pour empêcher le desserrage des écrous.

L'assemblage à leurs abouts des rails d'une même file, au moyen des éclisses, est semblable à celui de la voie sur traverses en bois.

La cornière inférieure des deux éclisses est percée d'encoches dans lesquelles s'engagent les crapauds en fonte pour arrêter le mouvement de translation.

COMPAGNIE PRIVILÉGIÉE DU CHEMIN DE FER DU NORD-OUEST AUTRICHIEN ET JONCTION SUD-NORD ALLEMANDE.

On n'emploie, sur les lignes de construction récente de cette Compagnie, que des rails à base large, c'est-à-dire du système Vignoles.

L'assemblage bout à bout de ces rails sur une même file se fait, à chaque joint du côté extérieur, au moyen d'une éclisse cornière double à angles et ailes symétriques, et à l'intérieur, au moyen d'une éclisse cornière simple. Ces deux éclisses sont conjuguées avec les bouts des rails qu'elles enserrant et assemblent au moyen de quatre boulons énergiquement serrés à chaque joint; elles reçoivent toutes deux, au bord de la cornière inférieure, deux entailles dans lesquelles des crampons sont placés pour empêcher le cheminement de la voie. De plus, l'éclisse intérieure se fixe à chacune de ses extrémités sur les traverses contre-joint au moyen d'un crampon.

Quand on emploie des plaques d'appui, comme dans les courbes d'un rayon inférieur à 600 mètres, les boulons d'entrée du coussinet inférieur sont retenus, tandis que la plaque de serrage s'adapte d'elle-même, au moyen d'un ponce-corné, dans l'entaille de la plaque d'appui.

Le tableau ci-contre, résumant les expériences de compression faites sur diverses pièces du système d'éclissage ci-dessus, donne un moyen facile de déterminer les rapports de résistance qu'offrent les éclisses cornières doubles, simples ou plates, par suite de la disposition adoptée. Pour essayer la force de résistance, on a construit spécialement les coussinets plats et simples de telle sorte que les proportions, ainsi que le matériel, soient égaux pour les trois types.

CHEMINS DE FER AMÉRICAINS.

On a essayé, sur quelques-uns des chemins de fer des États-Unis, pour la pose en porte-à-faux des joints de la voie Vignoles, le mode d'éclissage Fisher, qui ne nécessite pas le perçage de l'axe des rails. Ce système consiste en une large selle appliquée aux joints sous les patins des extrémités des rails et maintenue par trois boulons recourbés en U, serrant deux contre-plaques logées entre les ailes de la selle de joint et la partie supérieure de l'âme des rails. Les trois boulons sont engagés, de chaque côté des rails, dans des encoches pratiquées au patin, qui empêchent ainsi le glissement longitudinal de la selle. Ce système d'éclissage est employé particulièrement depuis treize ans sur le Boston and Providence Railway, où il paraît avoir donné de bons résultats.

On peut comparer le dispositif Fisher à l'éclisse américaine décrite par M. Couche dans son ouvrage. (Voir t. I^{er}, 1870, p. 103.)

Essais à la compression de diverses pièces composant l'écossage du chemin de fer du Nord-Ouest antichien avec 1^m06 entre les appuis.

| ÉCLASSES DE JOINTS. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

DISCUSSION EN SECTION

(1^{re} SECTION)

Séance du 16 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. PIÉRON

M. le Président. La parole est à M. Piéron, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie des chemins de fer du Nord français, pour nous présenter une analyse de la question.

M. Piéron. Messieurs, la question pour laquelle j'avais à préparer votre travail était ainsi conçue :

« Quelles sont les dispositions adoptées pour l'éclissage des rails et quelles peuvent être les améliorations à y apporter ? »

Pour les améliorations que comporte l'éclissage des rails, le rapporteur n'ayant pas reçu du règlement la mission de formuler des conclusions, c'est à vous qu'il appartient de les indiquer après discussion.

J'ai dû me borner à résumer, aux pages 40 à 44 des tirés à part de mon rapport, les très rares documents que j'ai reçus et qui émanent des chemins de fer du Sud de l'Autriche, des chemins de fer néerlandais, de la Jonction Sud-Nord allemande ainsi que de certains chemins de fer américains.

J'y ai joint des renseignements relatifs aux principales Compagnies françaises. Ces renseignements contiennent un grand nombre de chiffres ou de données numé-

riques et je n'oserais, sans craindre de fatiguer votre bienveillante attention, vous les répéter ici. Chacun de vous, messieurs, pourra les retrouver dans le rapport avec tous les éléments de calcul dont il pourrait avoir besoin pour étudier le projet d'éclissage d'un rail déterminé.

L'éclissage ayant pour but d'assurer la continuité d'une file de rails en maintenant dans un état convenable l'affleurement de deux barres consécutives, soit en plan, soit en profil, il est clair que plus l'extrémité d'un rail aura de tendance à se déplacer, plus l'on aura besoin d'un éclissage robuste, tandis que si deux rails successifs offraient des conditions de stabilité et de rigidité telles que leurs extrémités ne se déplaçassent pas, l'éclissage pourrait être très léger. Si donc vous voulez me le permettre, je me bornerai à dire, à titre d'impression personnelle, que le meilleur mode d'éclissage consiste dans l'adoption « d'un bon rail ».

M. Bricka (*France*). Je demande la permission de dire quelques mots en réponse aux conclusions du rapport de M. Piéron; ces conclusions ne concordent pas avec les résultats que nous avons constatés sur le réseau de l'État français. Nous avons le même type de rails que la Compagnie d'Orléans; ces rails sont très robustes, ils pèsent 38 kilogrammes le mètre courant, mais, comme le disait M. Brière, ils ont le défaut d'être difficilement éclissables. Nous avons constaté que, même sur des voies à faible trafic, et après un laps de temps relativement assez court, les abouts des rails étaient plus ou moins faussés et avaient pris une flèche permanente dans le sens de la longueur. Il ne suffit donc pas d'avoir un rail lourd; il faut encore le consolider au moyen de l'éclissage. Des expériences souvent renouvelées ont donné les mêmes résultats; et mon avis est qu'avec un mauvais éclissage, on aura toujours de mauvais joints.

M. Hohenegger (*Autriche-Hongrie*). J'appuie les explications de M. Bricka. Au moment où, sur nos voies en Autriche, nous avons substitué les rails en acier aux rails en fer, nous avons constaté qu'aux joints des rails en acier, les anciennes éclisses plates étaient pliées dans les courbes à cause du redressage des rails en acier dans la ligne droite.

Par suite de ce pliage des éclisses, nous avons même eu un déraillement assez sérieux. Cette constatation nous a amené à adopter le modèle d'éclisse allemand de la Bergisch-Märkische Bahn, à double cornière à l'extérieur et à simple cornière à l'intérieur.

Nous avons fait des expériences dont les résultats sont consignés dans le tableau inséré à la page 44 des tirés à part du rapport de M. Piéron. Vous y

verrez l'immense différence que présentent un bon et un mauvais éclissage.

En le parcourant avec attention, vous serez certainement d'accord avec moi qu'il faut donner la préférence à l'éclissage le plus fort possible.

Sur nos voies à longrines, nous éclissons non seulement les rails, mais aussi les longrines des deux côtés, et cela même ne suffit pas toujours.

En résumé, plus les rails sont forts, plus les éclisses doivent être fortement constituées.

M. Sandberg (*Suède*). La question de l'éclissage des rails a été une de mes spécialités. J'ai fait depuis trente ans de longues études, beaucoup d'expériences et j'en ai publié les résultats de temps en temps. Je tiens, avec M. le Rapporteur, que le seul moyen d'obtenir un bon joint est d'avoir un rail fort, d'une bonne section; qu'avec la section du double bourrelet des voies anglaises, il est plus facile d'obtenir un joint aussi résistant que le rail; mais qu'avec la section Vignoles et les éclisses cornières, on peut obtenir pour le joint une résistance égale aux deux tiers de celle du rail.

L'angle d'éclissage devrait être d'environ 15 degrés, et la surface entre l'éclisse et le bourrelet du rail devrait être aussi large que possible et tout à fait droite, comme si l'éclisse était planée par une machine. La section du Goliath actuel montre un contact de 25 centimètres. Si les surfaces de contact sont un peu arrondies, les joints tombent tout de suite avant d'être usés l'un sur l'autre; on éprouve un choc au passage sur chaque joint et il se produit un aplatissement du bout des rails, ce qui finit par détériorer complètement les voies. L'économie d'éclissage consiste du reste à employer les rails les plus longs possible. Ils peuvent être laminés même à 30 mètres de longueur; mais il faut les couper à une longueur pratique pour pouvoir les transporter et les mettre dans la voie.

Les Américains ont étudié la question de savoir si l'on ne pourrait pas, pour éviter le joint, souder les rails par un procédé électrique, après les avoir mis dans la voie; mais jusqu'à une longueur de 30 mètres, il faut naturellement tenir compte du jeu de la dilatation, laquelle diffère selon les températures, l'intensité du trafic et les conditions de profil de la voie. Cette question est d'une très grande importance.

Ordinairement, les éclisses cornières fixées aux traverses de joints à porte-à-faux sont suffisantes pour régler ce jeu. En Angleterre, où le rail est mieux fixé à chaque traverse, comme j'ai proposé aussi de le faire avec la plaque pour le rail à patin, on est tout à fait certain d'empêcher le jeu du rail; mais il y a des

localités où la question du règlement de ce mouvement par des éclissages différents est d'une très grande importance et mérite d'être discutée, afin de trouver un moyen simple pour pousser le rail et régler facilement son mouvement sans causer d'accident par l'élargissement de l'écartement.

— La discussion est close.

Séance du 17 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENT DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. PIÉRON

M. le Président. Je prie M. Perk de nous donner lecture du rapport qu'il a rédigé pour résumer la discussion de la question II, littéra C.

M. Perk. « Nous avons eu sur la question II, littéra C, un exposé par M. Piéron, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie du chemin de fer du Nord français.

« Après avoir décrit les divers mouvements que prennent les rails sous le passage des trains et le travail auquel ils sont soumis, M. Piéron étudie successivement les questions de la position des joints et de l'éclissage. Il décrit ensuite les divers modes d'attache employés, coussinets avec leurs coins, tire-fond, etc., ainsi que les accessoires tels que plaques de feutre, selles ou platines et selles d'arrêt employés par les Compagnies françaises.

« Aux pages 41 à 44 des tirés à part de son exposé, M. Piéron indique les modes d'attache employés par les chemins de fer du Sud de l'Autriche, néerlandais, Nord-Ouest d'Autriche et américains.

« En ce qui concerne plus spécialement l'éclissage, M. Piéron fait observer que, le but étant d'assurer la continuité d'une file de rails en maintenant dans un état convenable l'affleurement de deux barres consécutives, soit en plan, soit en profil, il est clair que plus l'extrémité d'un rail aura de tendance à se déplacer, plus l'on aura besoin d'un éclissage robuste, tandis que si deux rails successifs offraient des conditions de stabilité et de rigidité telles que leurs extrémités ne se

déplaçassent pas, l'écissage pourrait être très léger. Pour résumer son exposé dans une opinion personnelle, M. Piéron estime que « le meilleur mode d'écissage consiste dans l'adoption d'un bon rail ».

« La discussion qui a suivi la lecture du rapport tend à établir qu'en effet les difficultés d'un bon écissage augmentent lorsque l'on est en présence d'un mauvais profil de rail et qu'un bon écissage est plus facile avec le rail à double champignon qu'avec le rail à patin; c'est pour ce motif que sur les lignes anglaises on ne ressent pas le choc bien connu que l'on éprouve au passage des joints sur les lignes en rails Vignoles.

« Les difficultés auxquelles donne lieu la nécessité de permettre la dilatation sont également signalées, et l'on fait remarquer que, même si la soudure électrique des rails bout à bout venait à se réaliser, cette difficulté subsisterait toujours.

« En résumé, nous croyons pouvoir déduire du rapport de M. Piéron et des discussions les conclusions suivantes :

« 1° En ce qui concerne la position des joints dans les voies sur traverses, les joints à porte-à-faux paraissent préférés d'une façon générale aux joints portés par une traverse. La largeur du porte-à-faux la plus convenable varie de 60 à 70 centimètres;

« 2° Les joints chevauchés ne sont pas supérieurs aux joints concordants;

« 3° Un bon écissage sera obtenu d'autant plus facilement que l'on aura un meilleur type de rail;

« 4° Le nombre de boulons destinés à fixer les écisses aux rails le plus généralement adopté est de quatre;

« 5° Pour empêcher le desserrage des boulons, il est recommandable de tenir le pas du filet aussi serré que possible. »

— Ces conclusions sont adoptées.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 20 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. A. PICARD

M. Piéron donne lecture du rapport de la 1^{re} section relatif à la question II, littéra C, et des conclusions proposées. (Voir ci-dessus ce rapport et ces conclusions dans le compte rendu de la séance du 17 septembre de la 1^{re} section.)

M. le Président. Quelqu'un a-t-il des observations générales à présenter sur les conclusions soumises à l'assemblée par la section ?

M. Noblemaire (*France*). N'est-il pas résulté de la discussion entre les ingénieurs de la voie autre chose que la constatation du fait que les joints à porte-à-faux paraissent préférés, d'une façon générale, aux joints portés par une traverse ?

L'expérience n'a-t-elle pas assez parlé pour que les ingénieurs de la voie se croient autorisés à dire tout simplement qu'ils sont préférables ? Ce n'est pas la peine de réunir les ingénieurs de toutes les nations pour ne point oser trancher une pareille question. La même observation s'applique au 4^o des conclusions. Les mots « paraissent préférés » sont-ils assez catégoriques, et la question n'est-elle pas assez mûre pour qu'on puisse en dire davantage ?

M. Piéron. D'une manière générale, il semble préférable d'employer des expressions qui soulèvent le moins d'objections, et qui engagent le moins possible les Administrations. C'est pour cela que, constatant un fait, sans trop l'apprécier, nous avons simplement dit que les joints à porte-à-faux paraissent préférés, en général, aux joints portés par une traverse. Au fond, la préférence donnée par une majorité d'ingénieurs à un système semble indiquer que c'est le meilleur.

Mais ce n'est pas le meilleur d'une façon absolue. Et pour cause. Tel système peut être préféré aujourd'hui qui, demain, lorsque les circonstances auront changé, ne le sera plus. Au fond, la rédaction adoptée par la section donne satisfaction, dans une mesure assez large, à l'observation qui vient d'être présentée par M. Noblemaire.

M. Noblemaire. J'estime, d'une manière générale, que, dans les conclusions, il est fort important de se montrer très timide sur des questions d'ordre administratif, parce qu'elles peuvent être interprétées de façons différentes, et avoir des conséquences très inattendues. Mais sur des questions d'ordre purement technique, si nous n'osons pas nous prononcer, qui donc se prononcera? (*Assentiment.*)

Sir A. Fairbairn. En ma qualité de président de la 1^{re} section, je tiens à dire à M. Noblemaire que, dans les conclusions, nous avons tenu à rester un peu dans le vague, pour une raison qu'il comprendra. C'est que, sur cette question, il y a tant d'opinions, que si nous attendons qu'on se soit mis d'accord sur des termes extrêmement précis, nous serons encore ici demain. Nous avons donc été contraints de nous tenir sur la réserve. Nous disons au Congrès : « Voici quelles ont été les opinions des Compagnies de chemins de fer », et c'est à lui de voir quelles sont les conséquences qu'il peut en tirer. L'assemblée plénière est mieux en état de se prononcer que la section.

M. Heurteau (France). Il est tout à fait dans le rôle du Congrès, non d'émettre des votes sur des questions techniques et de les trancher par des majorités, ce qui est contraire au règlement, mais de nous renseigner sur ce que nous pensons tous et sur ce que nous faisons. C'est là notre principale utilité. Vous avez fait une enquête générale sur ce qui se passe à l'étranger; la section a rempli sa mission en constatant quelle est la tendance générale.

Nous ne devons pas aller plus loin.

M. Noblemaire. M. le Président pourrait poser une question qui nous éclairerait. Si, parmi les membres très compétents de la 1^{re} section, il y a des ingénieurs qui préfèrent les joints portés par une traverse aux joints en porte-à-faux, la conclusion doit rester vague.

S'ils sont tous d'un avis contraire, elle doit être précise.

M. le Président. L'opinion inverse de celle qui est consignée dans les conclusions a-t-elle été défendue dans la section?

Un membre. Cette question n'a pas été posée à la section.

M. Noblemaire. Si les résolutions du Congrès se résumaient en une simple constatation de statistique, il y aurait intérêt à dire : Sur tant de kilomètres représentés au Congrès, il y en a tant dont les joints sont portés par une traverse. Mais vous savez parfaitement que les joints en porte-à-faux sont préférés; se borner à dire qu'ils « paraissent préférés », c'est donc une réponse trop timide et ce n'est point ce que j'appelle une réponse de techniciens.

M. le Président. A-t-on défendu dans la section le système des joints sur traverses ?

M. le baron Prisse (Belgique). Je n'ai pas fait partie de la 1^{re} section; mais j'ai l'expérience acquise sur un chemin de fer de 50 kilomètres de longueur, et je me permettrai de vous renseigner sur ce qui s'est passé chez nous. Nous avons du ballast de très médiocre qualité. Nous avions à l'origine des rails en fer; nous leur avons substitué des rails en acier, et nous avons fait alors l'essai des deux systèmes de pose en question. La préférence a été donnée, sur notre ligne, à l'emploi des traverses de joints; c'est pourquoi je demande que l'infériorité de ce mode de faire ne soit pas affirmée d'une façon si absolue.

M. le Président. En présence de cette explication, je crois que M. Noblemaire n'insistera pas pour une rédaction trop précise et trop absolue. Je tiens cependant à faire quelques réserves sur les observations présentées par M. Heurteau. Je reconnais volontiers que nous devons être très réservés sur les questions économiques et techniques, d'autant plus que les termes du règlement, pris à la lettre, nous empêchent d'émettre aucune espèce de vote. Mais M. Heurteau sait que les règlements sont assez élastiques pour être interprétés d'une façon plus ou moins large. Si notre rôle et celui des sections se bornaient à des constatations matérielles, nous nous renfermerions dans un travail de statistique, et ce ne serait pas, comme l'a dit avec raison M. Noblemaire, la peine de déplacer et de réunir tant de personnes pour une semblable mission.

Le cas échéant, tout en y apportant certaines réserves, nous pouvons exprimer tout au moins les tendances de la majorité de l'assemblée. (*Marques d'adhésion.*) M. Heurteau ferait-il quelque objection à cette procédure ?

M. Heurteau. L'opinion de la majorité peut bien être constatée, si elle se manifeste d'une manière évidente; mais on doit signaler en même temps l'opinion contraire, en indiquant celle qui paraît être la plus générale.

M. le Président. Ce mode de faire ne saurait être érigé en principe devant être invariablement appliqué. Je me permets d'ailleurs de faire remarquer que, si l'on prenait le parti de toujours mentionner les diverses opinions dans les conclusions du Congrès, il serait nécessaire d'en constater la valeur relative, par l'indication du nombre des membres qui y adhèrent, et par suite, de provoquer un vote.

M. Heurteau. Il ne me paraît pas possible qu'une question aussi controversable que celle des joints en porte-à-faux, qui divise les spécialistes les plus compétents, puisse être résolue par un vote d'une assemblée comme celle-ci.

M. le Président. Accepteriez-vous de dire : *paraissent préférés*, au lieu de : *sont en général préférés* ?

M. Ludvigh (Hongrie). On pourrait dire : *les joints à porte-à-faux sont préférés sur les chemins de fer à grand trafic.*

M. le Président. Nous pourrions, je le répète, employer la formule : *sont en général préférés.* (Assentiment.)

M. Ludvigh. Parfaitement.

M. le Président. Le 1^o est adopté, sous réserve de la modification à laquelle l'assemblée vient de donner son assentiment.

M. Drouin (France). Le 2^o porte : *Les joints chevauchés ne sont pas supérieurs aux joints concordants.* Je tiens à faire observer que dans les courbes de petit rayon, les joints chevauchés ont donné de bons résultats.

Au lieu du libellé qu'on propose, on pourrait adopter le libellé suivant ou un libellé analogue :

Les joints chevauchés dont l'emploi peut en certaines circonstances produire de bons effets, notamment pour résister aux ripages, ne paraissent pas devoir être généralisés.

M. Piéron. Cette rédaction est plus précise que celle qui est proposée par la Section.

M. Drouin. La rédaction de la section semble indiquer que les joints chevauchés ne sont jamais recommandables.

M. Piéron. Cela veut dire qu'ils ne sont pas supérieurs aux joints concordants, mais non qu'ils doivent être bannis.

M. Drouin. La déclaration de M. le Rapporteur répond en partie à mon observation, mais il est peut-être utile de mieux préciser et c'est ce que fait mon libellé.

M. Piéron. C'est un point spécial. Il n'est peut-être pas nécessaire d'appuyer là-dessus en présence de la conclusion très réservée que nous proposons et qui se borne à dire : *Les joints chevauchés ne sont pas supérieurs aux autres.*

M. le Président. L'observation de M. Drouin est-elle appuyée? Elle n'est pas appuyée; le 2^e est adopté.

Nous passons au 3^e : *Un bon éclissage sera obtenu d'autant plus facilement que l'on aura un meilleur type de rails.*

M. de Serres. Je demande la suppression de ce paragraphe.
Je l'ai lu quarante fois et je n'y comprends rien; il n'est pas nécessaire.

M. le Président. Personne ne s'oppose à la suppression?
Le 3^e sera supprimé.

Un membre. La question est posée de cette manière :

Quelles sont les dispositions adoptées pour l'éclissage des rails?

La réponse est donnée à cette question, mais il n'est point répondu à la seconde partie de la question :

Quelles peuvent être les améliorations à y apporter?

M. de Serres. M. le Président a demandé s'il y avait des observations générales à faire. Dans la rédaction des nos 1^{er} et suivants, on parle de rails, de traverses, sans dire de quelle voie il s'agit. Il semblerait que l'ensemble des chemins de fer du monde civilisé soient établis avec rails sur traverses. On semble oublier les voies à rails sur longrines. Je propose d'écrire pour être plus précis : dans les voies sur traverses.

M. le Président. Rien ne fait obstacle à ce qu'on précise la rédaction à cet égard. Il ne peut y avoir ici de doute sur l'intention de la section. Il n'y a pas d'autre observation?

Les conclusions de la 1^{re} section sur la question II, littéra C, sont donc approuvées, sauf les modifications qui ont été décidées.

Elles seront libellées comme il suit :

1^o En ce qui concerne la position des joints dans les voies sur traverses

- “ les joints à porte-à-faux sont en général préférés aux joints portés par une
- “ traverse;
- “ La largeur du porte-à-faux le plus convenable varie de 60 à 70 centi-
- “ mètres (¹).
- “ 2° Les joints chevauchés ne sont pas supérieurs aux joints concor-
- “ dants (¹);
- “ 3° Le nombre des boulons destinés à fixer les éclisses aux rails le plus
- “ généralement adopté est de quatre;
- “ 4° Pour empêcher le desserrage des boulons, il est recommandable de tenir
- “ le pas du filet aussi serré que possible. ”

(¹) Ces conclusions ne s'appliquent qu'aux voies sur traverses.

QUESTION II, LITTÉRA D

LIGNES PARCOURUES PAR DES TRAINS RAPIDES



*Dispositions propres à assurer la stabilité de la voie sur les lignes
parcourues par des trains à grande vitesse.*

QUESTION II, LITTÉRA D

TABLE DES MATIÈRES



| | Pages. |
|--|------------------|
| Exposé par M. JULES MICHEL | II-D — 3 |
| Discussion en section | II-D — 22 |
| — en séance plénière et conclusions | II-D — 39 |



EXPOSÉ

Par JULES MICHEL

INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL FIXE DU CHEMIN DE FER DE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

I. — *Définition des trains à grande vitesse.*

Il faut d'abord définir ce qu'on entend par des trains à grande vitesse. En Europe aussi bien qu'en Amérique, dans l'état actuel de l'industrie des chemins de fer, on entend par des trains à grande vitesse ceux dont la vitesse moyenne de marche entre deux points d'arrêt successifs est réglée à plus de 64 kilomètres (40 milles anglais), et pour lesquels le mécanicien est autorisé à augmenter cette vitesse moyenne dans une proportion plus ou moins forte, soit en raison des alternances des pentes et rampes, soit pour regagner des temps perdus et assurer la régularité des horaires. Cette régularité de l'observation des horaires est considérée avec raison sur les chemins de fer en Europe comme une condition de sécurité et une des nécessités d'un bon service d'exploitation, en même temps qu'elle est réclamée par le public pour sa commodité.

Les augmentations de vitesse autorisées dans ces conditions sont, en général, de 50 p. c., et se traduisent sur certaines lignes par des vitesses de 100 kilomètres sur les sections de niveau, et de 120 à 125 kilomètres à l'heure sur des pentes de 0^m005 à 0^m010.

Le poids du train n'est pas indifférent; il influe comme la vitesse, quoique à un degré moindre, sur la stabilité de la voie. Depuis vingt-cinq

ans, le poids des trains express s'est accru aussi bien que leur vitesse ; et on doit admettre qu'il varie de 100 à 200 tonnes, non compris le poids de la locomotive et de son tender.

Nous avons donc à rechercher quelles sont, d'après les résultats consacrés par l'expérience, les conditions de stabilité des voies parcourues par des trains du poids de 100 à 200 tonnes marchant à des vitesses moyennes de 65 kilomètres au moins et pouvant atteindre, sur certains parcours, des vitesses de 125 kilomètres à l'heure.

II. — *Vitesse des trains rapides en Europe et en Amérique.*

En 1863, une commission d'enquête, instituée pour étudier le régime des chemins de fer en France à cette époque, constatait que la vitesse commerciale des trains express était en moyenne de 50 à 52 kilomètres et, exceptionnellement, de 57 kilomètres sur le chemin de fer du Nord, entre Paris et Calais ⁽¹⁾. La commission exprimait alors le désir qu'on portât, en France, la vitesse commerciale à 55 ou 60 kilomètres ; or, aujourd'hui, elle varie entre 55 et 69 kilomètres ; la moyenne est de 63 kilomètres. C'est une augmentation de 12 kilomètres à l'heure, soit près de 25 p. c. Cette augmentation a été obtenue en partie par la suppression de quelques arrêts intermédiaires, mais, pour la plus grande partie, par l'adoption d'une vitesse de marche notablement plus élevée. Cette vitesse moyenne de marche varie maintenant entre 65 et 80 kilomètres à l'heure.

Les maxima de vitesse admis en France sont de 110 à 120 kilomètres sur les réseaux du Nord, de l'Est et d'Orléans, et de 90 kilomètres sur les réseaux de l'Ouest et de Paris-Lyon-Méditerranée.

En Angleterre, la vitesse de marche des trains est réglée entre 72 et 85 kilomètres, et les vitesses commerciales varient de 71 à 81 kilomètres.

Les vitesses maxima ne sont pas limitées ; elles atteignent fréquemment 125 kilomètres sur les pentes.

En Belgique, les express des chemins de fer de l'État ont une vitesse de marche de 78 kilomètres et une vitesse maxima de 100 kilomètres.

(1) La vitesse commerciale est la vitesse moyenne résultant du temps mis à parcourir la ligne entière entre les gares extrêmes considérées, sans déduire le temps nécessaire pour les ralentissements et pour les arrêts aux stations intermédiaires.

En Hollande, la vitesse de marche est de 72 kilomètres et le maximum de 90 kilomètres.

En Allemagne, les vitesses de marche sont en moyenne de 65 kilomètres, pour une vitesse commerciale de 60 kilomètres. Les maxima autorisés sont en général de 75 kilomètres et exceptionnellement de 90 kilomètres à l'heure.

En Autriche et en Hongrie, les vitesses de marche des trains express sont de 60 à 70 kilomètres. Les mécaniciens ne paraissent pas être autorisés à augmenter leur vitesse de plus de 10 p. c. Ce qui donne des maxima de 66 et de 77 kilomètres.

La règle est la même en Russie sur le chemin de fer Nicolas.

En Italie, sur les deux grands réseaux de l'Adriatique et de la Méditerranée, les vitesses de marche sont respectivement de 70 à 75 kilomètres, avec un maximum de 80 kilomètres à l'heure.

Enfin en Amérique, d'après les renseignements recueillis par M. Banderli, ingénieur en chef du service central du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord, la vitesse de marche est de 65 à 66 kilomètres sur les lignes de l'Est; le maximum n'est pas limité non plus qu'en Angleterre et il a pu noter des vitesses de 126 kilomètres à l'heure sur d'assez longs parcours.

III. — *Établissement des voies.*

La stabilité de la voie sous le passage de ces trains à grande vitesse dépend à la fois de la condition d'établissement de ces voies et du type des véhicules, en particulier des machines appelées à y circuler. On ne s'occupera dans ce rapport que des conditions d'établissement de la voie, sauf à indiquer dans un tableau d'ensemble, d'après les renseignements fournis par les Administrations, les caractères principaux des machines qui remorquent les trains à grande vitesse.

Les parties constitutives de la voie sont :

- 1° Les rails;
- 2° Les attaches sur les traverses;
- 3° Les éclisses aux extrémités des barres;
- 4° Les traverses;
- 5° Le ballast;
- 6° La plate-forme.

Nous allons passer successivement en revue les dispositions adoptées pour chacun de ces éléments sur les lignes parcourues à grande vitesse, grâce aux renseignements fournis par les administrations des Compagnies qui ont bien voulu répondre à l'appel de la Commission internationale du Congrès et à l'aide de documents que j'ai pu recueillir au cours de voyages en France et en Angleterre ou trouver dans des publications récentes ⁽¹⁾.

IV. — *Les rails.*

Les questions soulevées à l'occasion des rails ont trait : 1° à leur forme; 2° à leur poids; 3° à la longueur des barres; 4° à la hauteur du rail et à la largeur de la table de roulement.

1° *Forme des rails.* — Les rails des voies ferrées se rattachent à l'une des deux catégories : rails à double champignon avec coussinets en fonte, et rails à patin ou rails Vignoles, reposant sur la traverse directement ou par l'intermédiaire de selles.

Il n'y a pas lieu de rentrer dans la discussion de la comparaison de ces deux types. Il suffit de constater que l'Angleterre, qui occupe le premier rang au point de vue de la vitesse, emploie exclusivement le rail à double champignon et qu'en France, les deux types sont également représentés.

En prenant par exemple les deux lignes françaises où les vitesses sont les plus grandes, on trouve le rail à patin sur le chemin de fer du Nord et le double champignon sur le chemin de fer d'Orléans. Dans le reste de l'Europe, aussi bien qu'en Amérique, le rail Vignoles est à peu près seul en usage.

(1) Les Administrations des chemins de fer dont les réponses me sont parvenues sont les suivantes :

ANGLETERRE: Compagnies du *Great Western*, *Great Northern*, *Great Eastern* et *London and North-Western*.

HOLLANDE: *Chemin de fer de l'État néerlandais*.

BELGIQUE: *Chemin de fer de l'État belge*; *Chemin de fer Liège-Macstricht*.

AUTRICHE-HONGRIE: *Chemin de fer de l'État autrichien*; *Compagnie de la Sud-Bahn*; *Compagnie du Nord-Ouest autrichien*; *Chemin de l'État hongrois*.

RUSSIE: *Chemin de fer de l'État russe*; *Grande Société des chemins de fer russes*.

ITALIE: *Compagnies des chemins de fer méridionaux et de la Méditerranée*.

ESPAGNE: *Compagnie de Madrid à Saragosse*.

FRANCE: *Chemins de fer de l'État*; *Compagnies des chemins de fer de l'Est, de Paris-Lyon-Méditerranée, du Midi, du Nord, d'Orléans et de l'Ouest*.

2° Poids des rails. — Le poids des rails par mètre courant s'est accru, dans les dix à quinze dernières années, parallèlement à l'accroissement de la vitesse des trains.

Les tableaux annexés au présent rapport donnent les poids des rails des divers chemins de fer en Angleterre, en France et en Amérique vers 1878.

A cette époque, le poids des rails en Angleterre variait de 37^k70 à 42^k18 (de 75 à 85 livres par yard) ⁽¹⁾. La moyenne était d'environ 40 kilogrammes par mètre.

En 1888, dix ans après, les poids varient de 39^k70 à 44^k60 (soit de 80 à 90 livres par yard). La moyenne ressort à 42^k18, c'est une augmentation de 2 kilogrammes ou 1/20.

En France, dans le même intervalle de temps, les poids ont augmenté dans une proportion plus forte.

Les poids variaient, en 1878, de 30 kilogrammes (Nord et Est) à 39 kilogrammes (Paris-Lyon-Méditerranée).

La moyenne était alors de 36 kilogrammes environ.

Depuis cette époque, toutes les Compagnies, sauf le Midi, dont le rail pesait 38 kilogrammes par mètre, ont augmenté le poids de leurs rails, et en 1889 les poids varient entre 38 et 47 kilogrammes, la moyenne est de 43 kilogrammes. C'est une augmentation de 7 kilogrammes ou 20 p. c.

Il est certain que l'abaissement du prix de l'acier a contribué à pousser aussi rapidement les Compagnies dans la voie de l'augmentation du poids des rails; mais la cause principale est le désir de diminuer les frais d'entretien qui croissent notablement avec la vitesse, parce que des rails trop faibles subissent des flexions répétées sous le passage des véhicules, machines ou wagons lourdement chargés.

En Hollande, le poids du rail est porté de 33 à 40 kilogrammes, et en Belgique, sur la ligne de Bruxelles à Anvers, il atteint, sous le nom de rail Goliath, le poids maximum que l'on ait admis jusqu'ici : 52 kilogrammes au lieu de 35.

En Italie, le poids des rails est encore de 36 kilogrammes, mais les dispositions sont prises pour le porter à 42 kilogrammes, dès que ce sera possible.

⁽¹⁾ Sans parler du chemin de fer métropolitain de Londres, dont le rail pesait 43^k18; mais ce n'est pas un chemin à trains rapides.

En Allemagne, les voies sont posées en rails de 37 kilogrammes et on ne paraît pas encore se préoccuper d'en augmenter le poids. Cependant, il y a plus de dix ans, quelques ingénieurs estimaient que ces voies n'offraient pas une résistance suffisante pour répondre aux progrès que l'exploitation devait faire ⁽¹⁾.

Enfin, en Amérique, la progression a été encore plus rapide qu'en France. En 1876, le poids était presque uniformément de 29^k70. En 1888, il varie pour les grandes Compagnies entre 39^k70 et 44^k60 (de 80 à 90 livres par yard). C'est une augmentation de 12 kilogrammes ou 40 p. c.

Ainsi, la tendance à l'accroissement du poids des rails, en même temps que s'accroît la vitesse, est incontestable. Le poids moyen pour les rails à double champignon ressort à 42 kilogrammes et le poids moyen pour les rails Vignoles est de 43 à 44 kilogrammes.

On comprend, d'ailleurs, comme l'ont fait remarquer MM. Huberti et Flamache, qu'on soit amené à donner aux rails Vignoles un poids plus considérable qu'aux rails à double champignon qui reposent sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets de plus en plus lourds ⁽²⁾.

3° *Longueur des rails.* — Les joints entre deux barres consécutives sont les points faibles de la voie, et ont donné lieu depuis un demi-siècle à un tel nombre de dispositions différentes, qu'on peut en conclure qu'aucune n'était réellement satisfaisante.

La meilleure de toutes ces combinaisons a été la diminution du nombre des joints par l'allongement des barres.

L'emploi de l'acier, en facilitant le laminage des barres de grande longueur (jusqu'à 30 mètres en travail courant dans l'état actuel), a permis de réaliser un progrès qui a consisté à remplacer les barres de 5 à 6 mètres, usitées jusqu'alors, par des barres de 9 à 12 mètres.

En Angleterre, la longueur la plus généralement adoptée est de 9^m144 (30 pieds). Cependant, la Compagnie du Great Western a commencé l'emploi du rail de 10^m96 (soit 36 pieds).

Je ne parlerai que pour mémoire et à titre de curiosité, d'un essai de rail de 18^m30 (60 pieds), fait par la Compagnie du North-Western dans la gare de Crewe.

(1) Voir *Revue générale des chemins de fer*. (Février 1879, page 105.)

(2) Voir *Ibid.* (Avril 1881, p. 290.)

En France, les longueurs actuellement adoptées sont de 11 et 12 mètres, suivant que les Compagnies avaient antérieurement des voies posées en rails de 5^m50 ou de 6 mètres. Mais il n'y a plus aucune hésitation à adopter ces longueurs, même pour les rails des types les plus lourds.

L'Administration des chemins de fer de l'État hollandais a adopté aussi les longueurs de 12 mètres, ainsi que la Compagnie italienne de la Méditerranée. C'est la Compagnie italienne des chemins de fer méridionaux qui, la première à notre connaissance, a abordé la longueur de 12 mètres et qui a donné, dès 1878, le signal de ce progrès très réel dans l'armement de la voie.

L'Administration des chemins de fer de l'État belge (pour le rail de 52 kilogrammes) et la Compagnie italienne de l'Adriatique se sont arrêtées à une longueur de 9 mètres.

L'Autriche-Hongrie et la Russie ont des longueurs de 8 à 10 mètres.

En résumé, les perfectionnements dans la fabrication de l'acier ont conduit à adopter des barres dont la longueur varie de 9 à 12 mètres, longueur qu'on ne dépassera sans doute pas, à moins de recourir à des dispositifs spéciaux pour permettre à la dilatation de se faire librement sous l'influence des changements de température.

4° *Hauteur du rail, largeur de la table de roulement.* — Un des plus grands avantages de l'augmentation du poids du rail a été de fournir le moyen d'augmenter sa hauteur et sa largeur.

Au lieu des hauteurs de 0^m100 qui étaient autrefois en usage pour les rails Vignoles, et 0^m127 pour les rails à double champignon, les hauteurs des nouveaux types de voie varient de 0^m127 à 0^m143.

On augmente ainsi la valeur du moment d'inertie et par conséquent la résistance à la flexion.

La largeur du champignon a été augmentée aussi depuis quelques années, en Angleterre et en Amérique, de manière à fournir une plus grande surface d'appui aux bandages des roues des wagons et des machines. Cette amélioration paraît être la conséquence naturelle de l'augmentation du poids que l'on tend à faire porter aux essieux des machines locomotives.

En Angleterre, la largeur du champignon varie de 0^m065 à 0^m070. En France, la largeur généralement adoptée est de 0^m060; elle est en légère augmentation pour les Compagnies du Nord et de l'Est, qui avaient jusqu'ici

une largeur de 0^m057. Ces deux Compagnies ont en même temps augmenté la largeur du patin de leur rail Vignoles, qui a 0^m134 et 0^m130 au lieu de 0^m100.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée vient de porter de 0^m60 à 0^m66 la largeur de son nouveau rail de 47 kilogrammes, sans changer la largeur du patin, qui était déjà de 0^m130, et, parmi les types de voie à double champignon, la Compagnie de l'Ouest a admis à 0^m62 au lieu de 0^m60.

L'Administration des chemins de fer de l'État belge a été plus loin; elle a pris un champignon de 0^m072 de largeur, avec 0^m145 de largeur au patin.

En Amérique, il y a dix ans, on se contentait, sur les grandes lignes de rails à champignon de 0^m059 de largeur; aujourd'hui, on a porté cette largeur à 0^m065 et 0^m067 sur ces mêmes lignes, et l'on a donné au patin une largeur de 0^m127, égale à la hauteur.

On peut donc conclure que la tendance générale, pour les lignes à grande vitesse, est à l'accroissement de la hauteur et de la largeur des rails, ce qui n'a pu s'obtenir qu'au moyen de l'augmentation de leur poids par mètre courant.

V. — *Attaches des rails sur les traverses.*

Les efforts sur les voies augmentant avec la vitesse et avec le poids des trains, on a dû se préoccuper de renforcer les attaches des rails sur les traverses, aussi bien dans le cas où ils sont fixés sur elles directement par le patin, que dans le cas où ils reposent par l'intermédiaire d'un coussinet.

Le renforcement s'est produit dans ces dernières années en Angleterre par l'augmentation du nombre des attaches. En élargissant la base du coussinet, on a pu y ménager trois ou quatre trous pour les chevillettes au lieu de deux.

En France, on arrive également à trois ou quatre attaches sur chaque traverse, et on adopte généralement des tire-fond en acier qui dans les bois durs (chêne ou hêtre créosoté) donnent à l'arrachement une résistance de beaucoup supérieure à celle des chevillettes. La question est d'une grande importance surtout dans le cas du rail à patin ⁽¹⁾.

(1) Voir dans la *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1884, p. 11, les résultats d'essais comparatifs pour la résistance à l'arrachement des crampons et des tire-fond en fer. De

La question de l'emploi des selles en acier, à poser dans ce dernier cas entre le rail et la traverse, n'est pas encore résolue partout de la même façon. Les Compagnies du Nord et de l'Est se contentent de selles en feutre. La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée regarde les selles en acier comme indispensables, malgré la dépense qui en peut résulter. Ces selles ont 0^m15 de largeur sur 0^m21 de longueur.

Presque partout, en Hollande, en Belgique, en Allemagne et en Autriche, on emploie des selles sur les parties de voies fatiguées, dans les courbes et dans les pentes. Ceci semble prouver leur utilité.

VI. — *Éclissage.*

Le système le plus généralement adopté pour les joints est de les laisser suspendus en porte-à-faux entre deux traverses. On y a été conduit par la nécessité de réunir les extrémités des rails par des éclisses sur les voies à double champignon, de la manière la plus simple, sans être gêné par le coussinet. Cependant une Compagnie anglaise, la Compagnie du Great Northern, a conservé un joint appuyé sur un coussinet spécial, qui n'a qu'une joue extérieure de manière à se combiner avec l'emploi des éclisses. Cet exemple de joint appuyé ne paraît pas avoir eu d'imitateurs en Angleterre. Sur le continent également, l'emploi du joint en porte-à-faux est général, aussi bien pour les rails à double champignon que pour les rails à patin.

La Compagnie du Nord français, qui avait jusqu'à ces derniers temps conservé le joint appuyé, vient d'y renoncer. On peut donc le considérer comme condamné.

Mais, avec le joint en porte-à-faux, l'extrémité du rail qui reçoit le choc des roues finit par se déformer d'une manière permanente, si on ne prend la précaution de réduire le porte-à-faux ou la distance à l'appui sur la traverse voisine.

Cette distance n'est limitée que par la nécessité de conserver entre les deux traverses voisines un intervalle suffisant pour en permettre le bourrage convenable. Mais dans ces limites, on l'a peu à peu diminuée, à

nouveaux essais entrepris récemment sur les tire-fond en acier, forgés à chaud, ont accusé des différences de résistance encore plus considérables en faveur des tire-fond.

mesure qu'on diminuait les intervalles entre les traverses intermédiaires dans le but de consolider la voie.

C'est ainsi qu'en Angleterre, cet intervalle varie de 0^m53 à 0^m62; qu'en France, il varie de 0^m54 au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée à 0^m66 sur les autres Compagnies.

En Belgique et en Hollande, on a adopté 0^m55, en Autriche 0^m51 et en Russie 0^m482 ⁽¹⁾.

Mais ce rapprochement ne suffit pas, et le joint est toujours faible, comme le prouvent les nombreuses dispositions imaginées pour augmenter la résistance des éclisses.

Ces éclisses, plates à l'origine, n'avaient d'autre but que d'assurer la continuité de la voie, en maintenant les extrémités des rails dans le sens horizontal.

On leur a demandé plus tard, et on leur demande maintenant, de supporter les extrémités des rails et de diminuer les flexions qu'ils ont à subir.

Aussi a-t-on cherché à augmenter la longueur et la section des éclisses. En Angleterre, on a eu recours aux éclisses repliées venant embrasser le champignon inférieur du rail. La moitié des Compagnies anglaises ont adopté cette disposition, qui gagne du terrain. En France, la Compagnie d'Orléans et la Compagnie de l'Ouest viennent également de l'adopter.

En France, en Italie, en Autriche, en Russie, en Hollande et en Belgique, les éclisses plates des rails Vignoles sont successivement remplacées par des éclisses-cornières, dont l'aile inférieure vient s'appuyer sur les traverses voisines du joint, où elle est fixée par des crampons ou des tire-fond.

Les éclisses constituent, avec ces traverses, un véritable cadre rigide, capable de résister au choc des roues sur les abouts du rail, et destiné en outre à s'opposer à la marche en avant du rail sur les voies en pente.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a même décidé d'allonger les éclisses dans son nouveau type de voie et de les fixer aux rails par 6 boulons, pour obtenir le meilleur appui possible pour les abouts des rails.

(1) Les chiffres donnés comme intervalles entre deux traverses sont toujours les distances d'axe en axe de deux traverses consécutives.

On peut signaler dans le même sens l'éclisse-cornière à 5 trous des chemins italiens, et l'éclisse à 6 trous du Reading Railroad en Amérique.

Il paraît sans objet de décrire les autres systèmes plus ou moins ingénieux proposés dans le même but en Amérique. Tous les efforts tendent à donner au joint en porte-à-faux la même rigidité qu'aux portions du rail reposant sur les traverses intermédiaires. C'est chose désirable assurément pour le bon entretien de la voie et pour la commodité des voyageurs.

VII. — *Les traverses.*

Les traverses jouent un rôle considérable dans la stabilité de la voie. Les traverses anglaises, abstraction faite de la résistance du bois, qui est en sapin du Nord, réalisent le meilleur type de traverses, à cause de leurs dimensions uniformes offrant 0^m25 à 0^m26 d'assiette sur le ballast et une longueur de 2^m70. La largeur de la face inférieure de la traverse a, en effet, une influence considérable sur le maintien de son bourrage.

La considération qui s'impose ensuite, c'est celle du rapprochement plus ou moins grand des traverses successives. Le choix du nombre de traverses par longueur de rail est d'une grande importance, puisqu'il a pour résultat de fournir un plus ou moins grand nombre de points d'appui, pour répartir sur le ballast la pression provenant de la charge des essieux.

En Angleterre, le pays par excellence des grandes vitesses, il y a tendance depuis une dizaine d'années à diminuer l'écartement d'axe en axe des traverses intermédiaires.

Il était autrefois de 0^m86 à 0^m91. Une seule Compagnie, celle du North British, avait réduit ces intervalles à 0^m77. Il est vrai que son rail ne pesait que 75 livres (37^k60).

Aujourd'hui, tout en adoptant les rails pesant de 41 à 42 kilogrammes, trois Compagnies, le North British, le Great Northern et le London-Brighton, ont réduit les intervalles moyens à 0^m77 sur leurs grandes lignes, les autres ont conservé des intervalles de 0^m83 à 0^m86 et même 0^m91.

En France, une tendance analogue se dessine; au chemin de fer de l'Est et au chemin de fer de Lyon, on adopte comme pose courante des intervalles de 0^m80 entre les traverses.

La Compagnie de Lyon se propose, en outre, d'essayer une pose dissymétrique des traverses placées sous une même barre, en rapprochant un peu plus les traverses voisines de l'extrémité du rail attaqué par la première roue de la machine, avant qu'il soit chargé. Cette portion est toujours plus fatiguée, plus déformée que l'autre extrémité; elle réclame donc un appui plus énergique.

En Amérique, les traverses sont encore plus rapprochées qu'en Europe. Même avec les rails lourds dernièrement adoptés, on a conservé les nombreuses traverses en usage avec les rails plus légers. Le Reading Railroad pose son rail de 44¹/₆₀ sur des traverses espacées de 0^m56 d'axe en axe ⁽¹⁾.

VIII. — *Ballast.*

Le rôle du ballast est de répartir la pression sur le sous-col et de maintenir les traverses et les rails au niveau voulu.

Ces deux conditions ne sont satisfaites que moyennant une qualité convenable du ballast et moyennant une épaisseur suffisante au-dessous de la traverse.

La première qualité, c'est la perméabilité. L'eau qui séjourne sous les traverses diminue promptement leur bonne assiette, si le trafic est considérable.

Les grandes lignes d'Angleterre ont, en général, fort bien réussi dans le choix de leur ballast. Depuis quinze ans, en France, les Compagnies de Paris-Lyon, du Nord et de l'Est ont fait de grands efforts pour améliorer la qualité de leur ballast.

Quant à l'épaisseur de la couche de ballast sous les traverses, elle devrait varier avec la résistance du sous-sol, et on ne saurait trop recommander de l'augmenter toutes les fois que c'est chose possible. L'épaisseur généralement admise de 0^m20 paraît faible. Il serait désirable qu'elle fût portée au moins à 0^m30 comme le font les Compagnies du North-Eastern, du London and North-Western en Angleterre, toutes les fois que la plateforme offre peu de résistance à la pression.

L'exemple des chemins de fer anglais, où l'on n'a aucun souci d'entourer le dessus de la traverse ni ses abouts dans une couche de ballast, semble

⁽¹⁾ *général des chemins de fer*, décembre 1888, p. 331.

prouver que cette surcharge n'est pas indispensable pour la stabilité de la voie, tandis que sur le continent, en France en particulier, on s'attache à araser le ballast au niveau du rail et à enfouir les extrémités des traverses dans une large banquette de 1 mètre environ de largeur au niveau du rail.

Mais la pratique anglaise, qui a de grands avantages au point de vue de la conservation du bois dans un climat humide et de la facilité du dégarnissage pour bourrer les traverses, ne saurait sans doute être recommandée avec du ballast mobile ou de médiocre qualité au point de vue de la perméabilité et dans des climats plus secs.

IX. — *Sous-sol. Plate-forme.*

Les réponses adressées par les Administrations de chemins de fer n'ont fourni aucune indication spéciale sur les conditions à remplir par les plates-formes qui constituent l'assiette des voies, sinon que leur solidité influe sur la bonne tenue de la voie.

Nous nous bornerons à rappeler que l'assèchement de la plate-forme est de la plus grande importance pour la stabilité de la voie sous les trains à grande vitesse.

Beaucoup d'accidents ou déformations de voie se produisent après des pluies prolongées, et indiquent le danger du défaut des écoulements d'eau faciles et rapides.

Les fossés avec pentes convenables, les drainages des parties argileuses s'imposent partout, et l'on doit constater que de grands efforts sont faits dans ce sens. En Angleterre, on paraît s'attacher plutôt aux drainages qu'aux fossés, parce que les tranchées sont généralement étroites.

En France, on a recours plus volontiers aux fossés, dont l'efficacité est plus certaine et qui sont plus faciles à surveiller et à maintenir en bon état d'entretien.

X. — *Les machines et leur jeu dans la voie.*

Une fois la voie constituée par les éléments dont nous venons de parler, il faut considérer les machines qui doivent la parcourir : elles ont une grande influence sur la manière dont se comportera la voie.

Quel est le meilleur type de machine à grande vitesse ? Nous n'avons pas

à le rechercher ici, nous avons dû nous borner à faire figurer dans le tableau-annexe le système des machines le plus généralement employé. C'est, comme on peut le voir, le type de machine à bogie ou truck à 4 roues, placé à l'avant de la machine.

Mais une autre question se présente qui intéresse la voie. Quel est le jeu qu'il convient de laisser aux machines dans la voie; autrement dit, quelle est la largeur libre à donner entre les champignons des rails à l'intérieur de la voie? Il est admis actuellement, comme règle uniforme et à peu près absolue, que les roues des véhicules doivent être calées sur les essieux de manière à ménager entre les faces verticales des bandages une distance de 1^m360 à 1^m362, et que les épaisseurs des boudins doivent varier entre 0^m030 lorsqu'ils sont neufs et 0^m020, lorsque l'usure oblige de les faire passer sur le tour. De sorte que le véhicule occupe sur la voie entre les faces extérieures des deux boudins, lorsqu'ils sont neufs, un espace égal à 1^m360 + 0^m060, soit 1^m42.

Le jeu sera l'intervalle laissé libre entre ces boudins et les champignons des rails.

En Angleterre, en Autriche, en Allemagne et en Belgique, la largeur de la voie est fixée à 1^m435; le jeu est donc seulement de 0^m015.

En France, où la largeur de la voie varie entre 1^m445 et 1^m450, le jeu est de 0^m025 ou 0^m030 avec les bandages neufs.

Quelle est l'influence de cette différence? Il serait intéressant de le savoir exactement.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a fait poser parallèlement sur un parcours de 9 kilomètres une voie avec une largeur de 1^m440 et une autre avec une largeur de 1^m450, et y a fait circuler des machines et des trains à des vitesses de 100 et 130 kilomètres. On n'a pas constaté de différences bien sensibles dans l'allure des machines ni des voitures sur l'une ou l'autre voie.

La Compagnie de l'Est français a fait une expérience de même genre, à la suite de laquelle elle paraît décidée à réduire la jauge de la voie à 1^m445.

XI. — *Résumé.*

En résumé, il résulte des renseignements fournis par les Administrations de chemins de fer, ou recueillis de divers côtés, que, dans l'établissement

des voies destinées à être parcourues par des trains à grande vitesse, on arrive aux conclusions suivantes :

Rails. — Le poids des rails varie de 40 à 45 kilogrammes pour les voies à coussinets et de 42 à 52 kilogrammes pour les voies à patin. La longueur des barres varie de 9 à 12 mètres, et la largeur du champignon, de 0^m060 à 0^m072.

Attaches. — Le nombre des attaches du rail sur la traverse est porté à trois ou quatre. Le tire-fond remplace le crampon, au moins pour le rail à patin.

Éclisses. — Les éclisses sont renforcées et allongées. On leur donne la forme de cornières pour augmenter leur résistance verticale.

Avec le rail à patin, l'éclisse allongée repose sur les traverses voisines du joint.

Traverses. — L'espacement des traverses au joint varie de 0^m482 à 0^m66; celui des traverses intermédiaires, de 0^m75 à 0^m91.

Ballast. — La perméabilité du ballast est recherchée plus que la quantité, et le remplacement du vieux ballast est poursuivi dans l'entretien de la voie avec le même soin que le remplacement des traverses.

Sous-sol. — Les plates-formes des tranchées sont assainies au moyen de fossés ou de drainages, et la couche de ballast augmentée sous la traverse.

Machines. — Les machines les plus usitées pour les trains à grande vitesse sont pourvues de bogie à l'avant.

Le jeu des roues des véhicules dans la voie n'est pas le même en France qu'en Angleterre, en Belgique et en Allemagne.

Paris, 19 juillet 1889.

Annexe à l'exposé du littéra D de la question II

TABLEAU

**résumant les renseignements sur la longueur et le poids des rails,
l'espacement des traverses,
les types de machines et les vitesses des trains des principaux chemins de fer
en EUROPE et en AMÉRIQUE.**

Longueur et poids des rails. — Espacement des traverses

| DÉSIGNATION DES CHEMINS DE FER. | | LONGUEUR des rails, 1889. | POIDS DES RAILS | | LARGEUR du champi- gnon. | MODE D'ÉCLISSAGE. |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
| | | | en 1889. | vers 1878. | | |
| Angleterre. | London and North-Western. | 9 ^m 144 (30 p.) | 44 ^{kg} 64 (90 ly) | 41 ^{mm} 66 | 0 ^m 0698 | éclisses-cornières joint en porte- à-faux plates |
| | North-Eastern | 9.144 | 44.64 (90 ly) | 40.67 | 0.0667 | |
| | Great Western | 10.97 (36 p.) | 42.66 (86 ly) | 39.68 (80 ly) | 0.0698 | — |
| | Great Northern. | 9.144 | 42.16 (85 ly) | 40.67 | 0.0667 | plates joint appuyé |
| | Midland | 9.144 | 42.16 85 ly) | 40.67 | 0.0667 | cornières |
| | North British. | 7.315 | 41.66 (84 ly) | 37.20 | " | plates |
| | London Brighton S.-C. . | 9.144 | 41.66 (84 ly) | 39.68 | 0.0698 | cornières avec boulons en des- sous du rail |
| | London Chatham Dover. . | 8.40 | 41.66 (84 ly) | 41.66 | 0.0667 | cornières |
| | Calédonian | 7.315 | 41.66 (84 ly) | 39.68 | 0.0698 | plates |
| | London and South-Western. | " | " | 40.67 | " | — |
| Great Eastern | 9.144 | " | 39.68 | " | cornières | |
| État hollandais | | 12.00 | 40.00 | 33.00 | 0.060 | cornière double à l'extérieur |
| État belge | | 9.00 | 52.00 | 35.00 | 0.072 | cornières |
| Autriche-Hongrie, Sud-Bahn . | | 10.00 | 34.00 | 36.00 | 0.057 | cornière double à l'extérieur |
| État hongrois | | 8.00 | 33.00 | " | 0.057 | id. |
| Russie, Railway Nicolas . . | | 8.00 | 33.00 | " | " | cornières |
| Italie. | Compagnie Méridionaux . . | 12.00 | " | " | 0.062 | cornières, 4 trous |
| | — Adriatique | 9.00 | 36.00 et 42.00 | 36.00 | 0.060 | cornières, 5 trous |
| | — Méditerranée | 12.00 | 36.00 et 42.00 | 36.00 | 0.060 | — |
| France. | État | 11.00 | 38.00 | 38.00 | 0.060 | plates |
| | Compagnie Midi. | 11.00 | 38.00 | 37.00 | 0.061 | — |
| | — Orléans. | 11.00 | 42.30 | 38.30 | 0.060 | cornières |
| | — Ouest | 12.00 | 38.75 et 44.00 | 38.75 | 0.062 | — |
| | — Nord | 12.00 | 43.20 | 30.00 | 0.060 | — |
| | — Est | 12.00 | 44.20 | 30.00 | 0.060 | — |
| | — P.-L.-M. | 12.00 | 47.20 | 39.00 | 0.066 | cornières à 6 trous |
| Amérique. | Philadelphie Reading . . . | " | 44.60 | 29.56 | 0.067 | cornières |
| | Pennsylvania | " | 42.20 | 29.56 | 0.065 | " |
| | N.-Y. Central | " | 39.70 | 29.56 | 0.065 | " |
| | Michigan | " | 39.70 | 29.56 | 0.065 | " |

re des machines. — Vitesse des trains.

| LIGNES N ^o | ESPACEMENTS MOYENS INTERMÉDIAIRES | | TYPE DES MACHINES LOCOMOTIVES | | | VITESSE | |
|--------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | en 1889. | vers 1878. | Roues motrices. | Roues d'avant. | Disposition des cylindres. | de marche des trains rapides. | Maximum autorisé. |
| | 0.925 | 0.925 | 2 roues couplées | essieu radial | intérieurs | " | pas de limite |
| | 0.847 | 0.847 | — | bogie ou radial | — | 80 | " |
| | 0.80 | 0.914 | roue libre | essieu radial | — | 85 | 105 |
| | 0.77 | 0.847 | — | bogie | extérieurs | 85 | " |
| | 0.86 à 0.91 | 0.864 | 2 roues couplées | — | intérieurs | 84 | " |
| | 0.84-0.75 | 0.864 | — | — | — | " | " |
| 5 | 0.77 | 0.81 | — | — | — | " | " |
| | " | 0.87 | — | — | — | " | " |
| 2 | 0.84 | 0.84 | — | — | extérieurs | 84 | " |
| | " | 0.864 | — | — | — | " | " |
| | " | 0.942 | roue libre 2 roues couplées | bogie radial | — | 72 | " |
| 55 | 0.88 | " | roues couplées | roue libre | intérieurs | 72 | 90 |
| 55 | 0.845 | " | — | essieu radial bogie | — | 78 | 100 |
| 510 | 0.86 | " | — | bogie | extérieurs | 60 | 66 |
| 56 | 0.93 | " | — | — | — | 70 | 77 |
| 482 | 0.75 | " | — | — | — | 60 | 70 |
| 61 | 0.99 | " | " | " | " | " | " |
| 61 | 0.84 | " | 2 roues couplées | bogie | extérieurs | 70 | 80 |
| 61 | 0.88 | " | — | — | — | 75 | 80 |
| 60 | 0.94 | " | 2 roues | roue libre avant | — | 65 | 90 |
| 60 | 0.80 | " | 2 roues couplées | roue libre | — | 75 | 100 |
| 60 | 0.80 | " | — | roue libre (avant et arrière) | — | 75 | 100 |
| 60 | " | " | — | bogie | intérieurs | 65 | 90 |
| 60 | " | " | — | — | — | 80 | 120 |
| 65 | 0.76 | " | — | roue libre avant | extérieurs | 75 | 110 |
| 54 | 0.82-0.77 | " | — | roue libre (avant et arrière) | — | 72 | 90 |
| 56 | 0.56 | " | " | " | " | " | " |
| " | " | " | " | " | " | " | " |
| " | " | " | " | " | " | " | " |
| " | " | " | " | " | " | " | " |

DISCUSSION EN SECTION

(1^{re} SECTION)

Séance du 16 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. JULES MICHEL

M. le Président. La parole est à M. Jules Michel, ingénieur en chef du matériel fixe du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, pour présenter à la section l'analyse de son exposé de la question II, littéra D.

M. Jules Michel. Tout d'abord, nous avons pensé qu'il y avait lieu de définir ce qu'il faut entendre par trains à grande vitesse. Dans les conditions actuelles, on admet en Europe aussi bien qu'en Amérique qu'il faut entendre par là les trains qui parcourent 70 à 80 kilomètres à l'heure, en marche régulière entre deux stations.

Il en résulte que, en raison des difficultés du profil ou en raison des retards que les trains subissent dans les gares, les machines doivent souvent marcher à une vitesse plus considérable. Le maximum, en France, varie entre 90 et 120 kilomètres. En Angleterre, il est même parfois dépassé et va jusqu'à 125 kilomètres.

Dans l'examen de la question posée, il faut considérer les conditions d'établissement de la voie que comportent de telles vitesses : rails, attaches, éclisses.

Il y a une dizaine d'années, la vitesse de marche des trains atteignait encore

rarement 80 kilomètres. A cette époque, les rails étaient moins lourds qu'aujourd'hui; depuis lors, il y a eu une tendance générale à augmenter le poids des rails. En Angleterre, il y a dix à douze ans, ce poids variait de 37 à 42 kilogrammes, soit une moyenne de 39^k50; dix ans plus tard, en 1888, le poids varie de 39^k70 à 44^k60, soit une moyenne de 42^k15; ce qui fait une augmentation de près de 7 p. c. en dix ans.

En France, la proportion de l'augmentation a été plus forte encore : en 1878, les poids variaient de 30 à 39 kilogrammes; moyenne, 34^k50 environ.

Depuis lors, toutes les Compagnies françaises, sauf le Midi, dont le rail pesait 38 kilogrammes, ont augmenté le poids de leurs rails. Ils atteignent, en 1889, le chiffre de 38 à 47 kilogrammes, soit une moyenne de 42^k50. C'est, en dix ans, une augmentation de 8 kilogrammes en moyenne, ou 23 p. c. Et dans ce même intervalle les vitesses ont varié de 65 à 80 kilomètres.

En Hollande, le poids du rail a été porté de 33 à 40 kilogrammes et, en Belgique, sur la ligne de Bruxelles à Anvers, le rail dit Goliath a atteint le poids de 52 kilogrammes, le plus élevé qui ait été admis jusqu'à présent.

En Italie, le poids des rails est encore de 36 kilogrammes, mais on se propose de le porter à 42 kilogrammes.

En Allemagne, d'après les renseignements que j'ai pu recueillir, on conserve encore le rail de 37 kilogrammes, même sur les lignes de grande vitesse.

En Amérique enfin, de 29^k70 qu'il était en 1876, le poids du rail adopté par les grandes Compagnies a été porté, en 1888, à des chiffres variant de 39^k70 à 44^k60, moyenne 42^k15, soit une augmentation de plus de 40 p. c.

La tendance à l'augmentation du poids du rail est donc générale.

Outre le poids du rail, il faut en considérer la longueur. Celle-ci, grâce à l'emploi de l'acier, a pu être aussi augmentée.

On a parlé tout à l'heure du joint ⁽¹⁾. C'est le point faible de la voie : à chaque joint, en effet, se produit un choc; par conséquent, moins il y a de joints et meilleure sera la voie.

Aussi la tendance constante des Compagnies, en Angleterre comme en France, a été d'allonger les barres; elles y ont été aidées par les usines métallurgiques, qui laminent aujourd'hui des barres de 12, de 18 et jusqu'à 24 mètres. De ce côté donc, point de difficulté. En Angleterre, la longueur des rails généralement

⁽¹⁾ Voir le compte rendu des discussions relatives à l'éclissage des rails (question II, litt. C).

adoptée est de 9^m144. Quelques Compagnies sont arrivées à 10 mètres et même à 10^m50. En France, les barres employées sont à peu près uniformément de 11 à 12 mètres, alors qu'elles étaient, il y a dix ans, de 5^m50 et de 6 mètres.

C'est la Compagnie italienne des chemins de fer méridionaux qui, la première, a adopté la longueur de 12 mètres. On aurait pu croire que la question de la dilatation aurait fait obstacle à l'adoption définitive de ce type. Mais l'expérience a prouvé qu'il n'en était rien; en sorte qu'on peut considérer l'augmentation de la longueur des barres de rails comme un progrès définitivement acquis.

L'augmentation de poids du rail permet d'augmenter aussi la largeur de la table de roulement et, par suite, la portée de l'écussage. C'est encore un point délicat de l'organisme des voies.

On a dit tout à l'heure que l'écussage ne réalisait pas toujours ce qu'on pouvait en désirer. L'expérience prouve qu'au passage des trains à grande vitesse, il se produit un choc aux extrémités, inconvénient qui diminue avec l'augmentation de l'assiette du rail. Le rail belge a 0^m072 de table de roulement.

Cet élargissement a pour résultat, d'abord, un meilleur appui de contact sur le rail et, en second lieu, un meilleur écussage aux joints.

Les renseignements que j'ai obtenus concernent également les attaches des rails sur les traverses.

Il n'est pas besoin de reprendre ici la question du crampon ou du tire-fond; on l'a discutée tout à l'heure ⁽¹⁾.

Cependant, il convient de constater que sur les lignes à circulation rapide, le tire-fond prend de plus en plus de place et deviendra probablement pour ces lignes le seul mode d'attache.

Mais il est un autre point, fort intéressant aussi, qui mérite d'être examiné; je veux parler de la tendance à augmenter le nombre des attaches.

Avant 1878, on se contentait généralement de deux attaches sur chaque traverse; aujourd'hui, la tendance en Angleterre et en France est d'en mettre au moins trois et souvent quatre.

Sur beaucoup de lignes anglaises, on a remplacé le coussinet à deux attaches par le coussinet à trois ou quatre attaches.

Tout à l'heure, M. Hohenegger nous parlait de selles attachées par trois trous. Au chemin de fer de Lyon, nous en employons quatre.

⁽¹⁾ Voir le compte rendu des discussions relatives à la fixation des rails Vignoles aux traverses en bois (question II, litt. B).

J'ai dit un mot tout à l'heure de l'éclissage; il se transforme aussi : l'ancienne éclisse plate semble devoir disparaître. En Angleterre, on a employé l'éclisse repliée embrassant le champignon inférieur du rail.

Quelquefois même, on recourt à un ou deux boulons supplémentaires.

En France, en Italie, en Autriche, en Russie, en Hollande et en Belgique, on a remplacé l'ancienne éclisse plate par l'éclisse cornière pour la voie à patin.

Aux chemins de fer français de l'Est et de Lyon, on se sert d'éclisses cornières beaucoup plus longues que l'éclisse plate.

Le dernier type du chemin de fer comporte six boulons. Les éclisses italiennés en comportent cinq.

Après le rail et ses attaches, nous arrivons aux traverses.

Les traverses, vous le savez, messieurs, sont un des éléments les plus importants de la stabilité de la voie.

On constate, en France comme en Angleterre, une tendance marquée à rapprocher ces traverses plus qu'elles ne l'étaient jadis. Il y a dix à quinze ans, on estimait qu'un espacement de 90 centimètres était suffisant, mais l'augmentation de vitesse et de poids des machines a eu pour effet d'augmenter la pression sur le ballast et il a fallu rapprocher les traverses pour maintenir la voie en bon état d'entretien.

En Angleterre, l'espacement des traverses est de 77 centimètres sur quelques lignes, plus généralement de 83 à 86 centimètres et même de 91 centimètres sur les autres.

En France, au chemin de fer de Lyon, on a adopté l'intervalle de 80 centimètres.

En Amérique, les traverses, vous le savez, sont plus rapprochées qu'en Europe : les rails y étaient autrefois plus légers; mais même avec des rails plus forts, on y admet l'intervalle de 56 centimètres.

Je passe au ballast.

Le ballast a pour objet de répartir la pression sur le sous-sol et de maintenir les rails au niveau voulu. La nature du sous-sol doit donc être considérée pour apprécier la quantité de ballast qu'il faut employer.

Je ne vois pas que cette question ait beaucoup occupé les Administrations de chemins de fer depuis dix ans. Ce n'est guère qu'en Angleterre qu'on a augmenté la couche normale du ballast : elle était autrefois de 50 centimètres; elle est maintenant de 60 centimètres. On s'est en outre beaucoup préoccupé, depuis dix ans, de la qualité du ballast en vue d'améliorer les conditions d'entretien de la voie. On a constaté

que souvent des déformations de la voie et des accidents ont eu pour cause une plate-forme qui n'était pas convenablement assainie ou bien un ballast de mauvaise qualité. Aussi, s'est-on appliqué surtout à remplacer le ballast peu perméable par du ballast offrant une perméabilité suffisante pour le soustraire aux influences de la pluie et de la gelée.

En France, on s'est également appliqué à obtenir le même résultat et à remplacer le ballast plus ou moins compact ou terreux par des ballasts perméables. On considère que le bon entretien du ballast est aussi nécessaire que celui des traverses et des rails.

Quant à la plate-forme, son assainissement est également nécessaire, le ballast pouvant se déplacer si le sous-sol n'est pas résistant. On obtient cet assainissement soit par des fossés profonds, soit par un drainage qui assure la stabilité complète de la voie, condition essentielle là surtout où circulent des trains de grande vitesse.

Dans l'étude de la question de la stabilité des voies, il y aurait à considérer aussi le poids des machines et du matériel roulant. Mais ce n'est pas le lieu de discuter ce point. Cependant, j'ai fait un relevé, annexé à mon rapport, des types de machines employées sur les lignes à grande vitesse en Angleterre, en Amérique et en France.

Il en résulte que les machines les plus usitées pour les trains à grande vitesse sont pourvues de bogies à l'avant.

Une dernière question pourrait être posée à propos du jeu des machines dans les voies. La conférence de Berne a décidé que tous les wagons destinés à la circulation internationale auraient un écartement d'essieux uniforme. Mais les voies, elles, ne sont pas régies par des règles uniformes.

Les voies anglaises ont, de bord à bord des champignons, à l'intérieur de la voie, un écartement de 1^m435. Cette largeur est la même en Allemagne; elle est un peu plus forte en France. Est-ce un avantage, est-ce un inconvénient au point de vue de la circulation des machines à grande vitesse? Je regrette de n'avoir pu recueillir assez de renseignements pour élucider cette question. Peut-être quelques-uns de nos collègues pourront-ils nous dire si la voie de 1^m435 se comporte mieux que celle de 1^m450 sous le passage des trains de grande vitesse.

— La discussion est ouverte.

M. Mantegazza (*Italie*). M. Michel ne nous a pas fait connaître son opinion

sur le système d'ancrage qu'il considère comme le meilleur. Vaut-il mieux ancrer le rail à la traverse, soit avec encoche, soit avec goujon, au lieu d'employer dans ce but l'éclisse ?

M. Jules Michel. D'après les renseignements que j'ai pu recueillir, et d'après mon expérience personnelle, l'éclisse-cornière est le meilleur mode d'éclissage ; c'est-à-dire une éclisse qui peut être encochée et posée de manière à pouvoir s'appuyer sur les deux traverses voisines du joint, et non sur une seule.

La jonction est bien supérieure quand c'est la traverse précédant le joint qui reçoit l'attache ; celle qui le suit est ébranlée par le choc sur le joint, alors que le rail n'est pas encore chargé par la roue.

L'éclisse cornière reliée par un ou deux tire-fond à chacune des deux traverses voisines du joint s'oppose efficacement au mouvement en avant de la voie, même avec des rails de 12 mètres de longueur. Peut-être en serait-il autrement avec des rails plus longs. Mais M. Mantegazza, qui connaît l'éclisse cornière, car c'est à lui que nous l'avons empruntée, pourrait nous dire si, dans ces conditions, un seul trou suffit pour empêcher le mouvement en avant.

M. Mantegazza. Depuis longtemps, nous employons généralement la double éclisse cornière. Nous avons appliqué aussi un système spécial qui a été étudié dans des conditions particulières d'établissement de certaines voies. L'ancrage est obtenu simultanément par une éclisse à cornière descendante et par une selle spéciale qui s'étend aux deux traverses de contre-joint.

M. Jules Michel. Il me semble que l'éclisse cornière est la plus simple en ce sens qu'elle ne demande pas d'organe supplémentaire.

M. Mantegazza. Oui, mais l'éclisse cornière ordinaire, c'est-à-dire à fer d'angle, est moins résistante que l'éclisse descendante ou à tablier. C'est pour augmenter la résistance du joint que nous avons adopté l'éclisse à tablier ; et on opère l'éclissage par l'intermédiaire d'une selle, comme je viens de le dire.

M. M. von Leber (Autriche). Si je suis bien renseigné, la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée faisait usage d'un autre système : la base du rail même y est percée d'un trou à travers lequel passe le crampon. Vous savez, messieurs, que quand on a remplacé les rails de fer par ceux d'acier, on a dû renoncer aux entailles pour fixer le rail longitudinalement. C'est à ce moment que la question de l'éclissage a été remise en discussion et que la Compagnie de Paris-Lyon-Méditer-

ranée a imaginé, pour son rail de 13 centimètres de base, de faire traverser le patin et la selle par le crampon, ce qui n'affaiblit pas le profil comme le feraient les entailles.

La Compagnie du Nord français avait alors un système tout à fait spécial, consistant dans l'application d'une cheville à encoches à l'extrémité du rail. Je désirerais savoir ce que sont devenus ces systèmes.

M. Jules Michel. Il m'est facile de répondre à la question de M. von Leber en ce qui concerne le chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée. La Compagnie de ce chemin de fer, quand elle a adopté l'acier, avait deux types de rails, l'un à large patin, l'autre à patin étroit.

Pour arrêter le mouvement en avant du rail sur les traverses, on avait pratiqué un trou dans le patin étroit et on y avait appliqué une espèce de goujon de 78 millimètres de diamètre; on s'était proposé de remplacer de cette façon l'encoche pratiquée précédemment dans le rail en fer, car on sait que ces encoches provoquent les ruptures des rails en acier. Mais au bout de peu de temps, cette petite cheville ou goujon s'est coupée parce que le frottement du rail sur la traverse en a déterminé très rapidement l'usure. On l'a abandonnée.

Aujourd'hui, la Compagnie de Lyon emploie uniformément l'éclisse cornière (elle a 70 centimètres de longueur). L'aile horizontale est percée de deux trous aux extrémités pour recevoir des tire-fond destinés à attacher l'éclisse à la traverse.

Quant au rail à large patin, il était percé de trous de 2 centimètres de diamètre, dans lesquels on introduisait des chevilles en fer remplaçant les crampons, et l'assemblage était très solide. Mais après un service de dix à quinze années, les trous se sont élargis, les crampons s'étaient rongés et la voie n'offrait plus la rigidité sur laquelle on avait compté. Il a fallu abandonner également ce système et nous en sommes venus aussi pour ce type à l'emploi de l'éclisse cornière.

M. A. d'Abramson (*Russie*). Ces messieurs ne pourraient-ils pas nous faire connaître leur opinion sur les différents moyens employés pour empêcher ou corriger le desserrage?

M. Jules Michel. En ce qui nous concerne, nous n'avons pas d'autre procédé que la rondelle à ressort, qui empêche le desserrage des boulons; elle permet aussi de resserrer les boulons quand cela est nécessaire.

M. Mantegazza. Nous avons des boulons de 25 millimètres de diamètre,

avec lesquels nous n'avons pas trouvé de desserrages inquiétants. Toutefois, je crois que la rondelle à ressort « Grover » est ce qu'il y a de mieux et de plus rationnel contre le desserrage des boulons.

M. Sandberg (*Suède*). Le boulon de 25 millimètres est le plus économique. Une infinité de brevets ont été pris pour des boulons de divers systèmes.

M. Mantegazza. Pour ma part, j'en ai pris deux, il y a déjà vingt-cinq ans. (*Hilarité*.)

M. Bricka (*France*). Pour répondre à la question qui vient d'être posée, j'ai à citer un système de boulon qui nous donne de bons résultats : c'est le boulon Linet, dans lequel l'écrou est fendu et forme ressort, et le filet, au lieu d'avoir la forme d'un triangle isocèle, a la forme d'un triangle rectangle. Une fois placé, ce boulon ne se desserre plus.

J'ajouterai que même les boulons ordinaires, si on a soin, dans les premiers mois qui suivent leur pose, de surveiller le serrage, ne se desserrent ensuite que très rarement.

M. Brière (*France*). Pour le serrage des boulons, ce qui importe, ce n'est pas tant de viser à les empêcher de se desserrer, mais de trouver le moyen de les desserrer sans trop de difficultés (*Rires*), c'est-à-dire de les enlever sans les briser. M. Bricka a son petit système.

M. Bricka. Moi ? Pas du tout. (*Hilarité*.)

M. Brière. Je ne voudrais pas manquer l'occasion de dire que, nous aussi, nous avons le nôtre. Il nous a été offert par un inventeur breveté.

A première vue, ce nouveau boulon n'avait rien de bien séduisant. Cependant, nous avons consenti à en poser 500 aux frais de l'inventeur et, après une expérience de deux ans, nous en avons commandé 12,000.

Jusqu'à présent, je crois que c'est le boulon de l'avenir. (*Rires*.) En réalité, c'est un boulon qui n'est plus un boulon (*Nouveaux rires*) ; c'est une clavette ; il s'appelle le boulon Coulon ; vous le verrez à l'Exposition.

Je prie mes honorables collègues de croire que je n'ai aucun intérêt dans l'invention (*Hilarité*) ; et c'est d'une façon fort désintéressée que j'exprime mon opinion sur ce modèle de boulon.

M. Kalff (*Pays-Bas*). Ce boulon de l'avenir coûte-t-il cher ?

M. Brière. Non, pas plus que les autres, un peu meilleur marché même ; notre boulon ordinaire, y compris les rondelles Grover, nous coûte 22 centimes, le boulon Coulon revient à 18 centimes. Seulement, car il y a un seulement (*Rires*), on ne nous en a fourni d'abord que 500, comme je viens de le dire, et ils se sont fort bien comportés ; mais quand nous en avons commandé 12,000, nous avons rencontré une difficulté. C'est que les premiers avaient été fabriqués en chambre, tandis que pour satisfaire à la commande de 12,000, le fournisseur avait dû s'adresser à l'industrie privée et les fabricants de boulons ne se sont pas prêtés facilement à le servir. Il fallait un acier excellent et le fournisseur a failli ne pas pouvoir nous les livrer au prix convenu de 300 francs la tonne.

En somme, ce boulon n'est pas plus cher que les autres et il s'applique parfaitement à tous les systèmes.

M. Jules Michel. A l'exemple de nos confrères de la Compagnie d'Orléans, nous allons aussi essayer ce boulon.

M. Brière. Un mot encore. On a parlé de la question du cheminement, qui semble préoccuper beaucoup. Sans être indiscret, je voudrais savoir si le cheminement est un fait bien établi. Ce qui me permet d'en douter, c'est que les Compagnies qui ont le double champignon ne paraissent pas du tout se préoccuper de cette question du cheminement. Il semble cependant que la voie à double champignon soit celle dans laquelle le rail peut cheminer le plus facilement. Il est certain que dans la voie à double champignon le rail est absolument libre dans le coussinet et qu'il doit cheminer avec plus de facilité que dans la voie Vignoles. Or, notre Compagnie d'Orléans ne se préoccupe pas autant du cheminement. Le cheminement existe, mais dans une proportion très faible et seulement dans les voies à pente très forte. Je crois qu'il en est de même en Angleterre ; je ne crois pas que là, plus que chez nous, on se préoccupe du cheminement du rail dans les voies à coussinets.

Aussi je me demande s'il n'y a pas un peu d'excès dans les moyens employés pour empêcher le cheminement et s'il ne serait pas utile de réagir contre cette tendance.

M. Sandberg. Pour les boulons des éclisses, je préfère toujours le boulon simple mais gros, à toutes ces formes pour lesquelles des brevets ont été pris. L'entretien de la voie, surtout dans les pays froids où l'on a de la neige, exige l'emploi de matériaux simples mais solides.

Toutes ces inventions ne me touchent pas et je ne me mêle jamais des intérêts de leurs auteurs, voulant conserver mon entière indépendance dans les appréciations que je puis avoir à donner.

M. Jules Michel. Je puis répondre par un fait — sans l'expliquer — à la question posée par M. Brière. Sur les pentes inférieures à 10 millimètres, nous n'observons pas grand'chose comme mouvement de voie : les tire-fond ou crampons serrent parfaitement le rail sur la traverse; mais quand la pente dépasse 10 millimètres et quand le ballast est un peu mobile, ce qui arrive toujours dans les premiers temps pour une voie neuve, on constate des déplacements de traverses de 15 à 20 centimètres, se produisant souvent d'un seul côté; car dans les courbes la pression ne s'exerce pas également sur les deux rails. Le mouvement en avant est donc un fait certain et parfaitement reconnaissable. C'est pour le combattre que nous avons employé l'éclisse cornière sur les voies en pente.

En parcourant certaines voies anglaises, et en interrogeant les agents chargés de l'entretien, j'ai appris qu'ils avaient sur certains points beaucoup de peine, dans les voies courbes et en pente, à maintenir les rails. Donc, même avec le rail à double champignon, on a quelquefois de la difficulté à empêcher le cheminement en avant.

M. De Busschere (*Belgique*). J'ai dernièrement fait en Angleterre un voyage d'étude, et j'ai essayé tout particulièrement de rechercher les avantages et les inconvénients de la voie anglaise. Je me suis notamment préoccupé de la question du cheminement des rails. Ainsi que le dit M. Michel, on constate dans les voies en forte pente un déplacement marqué; mais ce ne sont pas les rails seuls, c'est toute la voie qui marche. Sur une voie très en pente, à une bifurcation près de la station de Finsbury-Park, du Great Northern, le cheminement de la voie est arrêté par des pieux fixés verticalement dans le sol et contre lesquels viennent buter les traverses. Dans les parties peu inclinées et sur les rampes, le cheminement est inconnu, et quand j'ai demandé sur certains réseaux, notamment au London and North-Western, et au North British, quels moyens on employait pour combattre le cheminement, ma question a fort surpris ceux à qui elle était adressée. J'ai ainsi été amené à conclure que, dans les conditions ordinaires, le cheminement des rails, très marqué dans la voie Vignoles, n'existe pas dans la voie à coussinets.

M. Siegler (*France*). Il y a quelques années, nous avions une voie non éclissée,

à double champignon, où j'ai constaté qu'il y avait cheminement; au moyen d'un appareil multiplicateur, j'ai pu *voir* les rails se déplacer au moment où le premier essieu les abordait. Ce fait ne peut donc pas être contesté. Si partout les rails ne cheminent pas, c'est qu'on les en empêche; mais ce n'est certes pas l'envie qui leur manque. (*Rires.*) Nous ne constatons plus de cheminement depuis que nous employons l'éclisse cornière tirefonnée sur les deux traverses voisines du joint.

— La discussion est close.

— La séance est levée à 4 heures.

Séance du 17 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. JULES MICHEL

M. le Président. M. Brière a parlé, au cours de la discussion ⁽¹⁾, de la surélévation des rails dans les courbes. Les Compagnies ne sont pas d'accord sur ce point. M. Brière pourrait-il nous donner encore quelques explications à ce sujet?

M. Brière. Je suis prêt à déférer au désir de M. le Président, mais je ne sais pas si cette question est à l'ordre du jour.

M. M. von Leber. C'est un sujet fort intéressant.

M. Brière. J'ai dit que, sur notre ligne de Toulouse, où nous avons des courbes d'un rayon qui descend fréquemment jusqu'à 300 mètres, il circule journellement des trains à la vitesse de près de 100 kilomètres à l'heure. Autrefois, nous ne donnions, dans ces courbes, au rail extérieur qu'une surélévation de 18 centimètres; mais quand les vitesses ont augmenté, nous avons augmenté les dévers et l'avons porté à 21 centimètres.

A ce propos, je ne puis me dispenser de donner une explication complémentaire

(1) Il s'agit de la discussion de la question II, littéra B (Fixation des rails Vignoles aux traverses en bois).

Cette ligne est dans des conditions toutes spéciales : les déclivités y sont fortes; elles vont jusqu'à 16 millimètres par mètre et sont couramment de 12 millimètres. Elle est en outre à voie unique. Il y circule des trains express à grande vitesse et des trains de marchandises très lourds qui se composent souvent d'une soixantaine de voitures.

Leur allure est très rapide à la descente et très lente à la montée.

Nous nous trouvons donc dans cette situation particulièrement difficile d'avoir, sur la même voie, des trains de marchandises montants marchant à 15 1/2 kilomètres à l'heure, tandis que les trains de voyageurs descendants y circulent à la vitesse de plus de 90 kilomètres avec des courbes de 300 mètres.

Nous avons donc pensé qu'il valait mieux forcer le dévers pour prévenir des accidents aux trains rapides de voyageurs, quitte à faire souffrir un peu la voie sous la charge des trains de marchandises à une allure lente.

Il y avait en présence une question de sécurité et une question de dépense. Naturellement, nous n'avons pas hésité et nous avons adopté le dévers de 21 centimètres, admis pour les plus grandes vitesses.

Mais un point capital nous a préoccupés encore plus que la valeur du dévers, et je demande la permission d'y insister; il s'agit de la manière dont ce dévers est raccordé avec les parties en alignement droit sans dévers.

Nous avons été d'accord, en effet, avec le service de la traction pour reconnaître que les grands dévers n'offraient pas d'inconvénients pour la circulation du matériel roulant; mais ce qui offre toujours un grand danger, ce sont les raccords défectueux.

Je ne parle pas des raccords en plan, des raccords paraboliques. Je parle des raccords en profil, c'est-à-dire du plan incliné au moyen duquel le rail extérieur regagne le dévers.

Les deux services de la traction et de la voie ont été d'accord pour reconnaître que la pente doit toujours être extrêmement faible; c'est là, chez nous, un point capital : c'est la base de notre système de raccordement, et nous y attachons la plus grande importance.

Voici nos règles :

En aucun cas, quel que soit le dévers, quelles que soient son importance et la manière dont il est obtenu, la pente de raccordement ne doit jamais dépasser 2 millimètres par mètre.

Cela présente des difficultés d'exécution assez grandes, d'autant plus que nous avons aussi pour règle que les dévers doivent être acquis intégralement au point

de contact de l'alignement droit et de la courbe. Si l'on observe cette dernière règle quand on se trouve en présence d'un alignement droit trop court entre des courbes de sens contraires, il peut se faire qu'il n'y ait pas moyen de régler la pente à 2 millimètres. Nous étions donc là en présence de deux éléments contradictoires : d'une part, ne pas obtenir le dévers de 21 centimètres à l'origine de la courbe; d'autre part, donner une pente supérieure à 2 millimètres au rail extérieur.

Eh bien, nous avons tenu, avant tout, à maintenir la pente de 2 millimètres; nous plaçons, au milieu de l'alignement droit, une partie en palier sur la longueur d'un rail et ensuite nous partons dans les deux sens avec une pente de 2 millimètres.

La règle que nous prescrivons de la manière la plus formelle à notre personnel, c'est de ne jamais dépasser la pente de 2 millimètres, dût-on ne pas avoir tout le dévers au point de tangence.

Ces explications répondent, je pense, à la question qui a été posée.

On me demande aussi si nous avons, sur cette voie, des ripages. Je réponds affirmativement. J'ai dit que nous circulons en toute sécurité sur cette voie; mais enfin, il est certain qu'on ne fait point face sans difficulté à des conditions aussi terribles, qu'on me permette ce mot.

Il faut nécessairement des précautions exceptionnelles pour circuler dans d'aussi mauvaises conditions.

Les ripages sont généralement produits par les trains de marchandises à la descente; les trains longs occupent souvent deux courbes en sens contraire; nous nous servons peu des freins à main, et c'est par la contre-vapeur que nous retenons le train; dès lors, le train tout entier pèse sur la machine, et c'est alors que se produisent les ripages. Nous avons dû organiser un service de gardiennage pour exercer une surveillance active sur cette partie de la voie.

On peut dire que nous avons un ripage à peu près tous les mois. Quant à sa nature, ce n'est pas l'attache du coussinet qui manque, c'est la voie tout entière qui est ripée.

Nous avons employé divers moyens pour y parer; aucun n'a réussi. Nous avons planté des piquets au bout des traverses. Cela n'a pas fait grand'chose. Nous avons renforcé la banquette extérieure du ballast dans les courbes; nous avons employé un ballast exceptionnel; tout cela n'a guère produit de résultat. Les ripages sont parfois considérables; nous en avons eu qui ont atteint jusqu'à 12 centimètres après le passage d'un seul train; puis, il se passait un mois, deux mois, sans qu'il s'en produisît de nouveaux. Dans un article de la *Revue générale*

des chemins de fer, j'ai soutenu qu'il était rare que les déraillements en pleine voie fussent dus à une cause unique; qu'il fallait les attribuer à la concomitance de plusieurs causes qui, par leur action simultanée, amenaient l'accident. Il en est de même du ripage. Nous constatons des ripages à la voie, comme il se produit des déraillements en pleine voie; tout ce que nous pouvons faire, c'est d'en rechercher les causes avec autant de soin que celles des déraillements. Aussi sommes-nous parvenus à avoir encore des incidents, mais non de véritables accidents.

M. Hohenegger (*Autriche*). Le chemin de fer du Nord-Ouest de l'Autriche a été construit en 1869. Je voyageais alors en France et mon attention s'est, entre autres, portée sur cette surélévation (dévers) pratiquée dans les courbes. Comme nous avons aussi de fortes courbes, j'ai cru faire une chose utile en adoptant un modèle français (je crois même que c'est celui de la Compagnie d'Orléans) : le dévers maximum de 182 millimètres. Mais après deux ans d'exploitation, nous avons reconnu que nous ne pouvions pas conserver ces forts dévers, parce que les machines lourdes des trains de marchandises pesaient tellement sur le rail intérieur qu'on ne pouvait maintenir la voie en bon état; il fallait la corriger tous les jours.

M. Brière. Aviez-vous le rail Vignoles ou celui à double champignon?

M. Hohenegger. Le rail Vignoles; mais cela importe peu, car c'est la traverse qui est en jeu.

Enfin, nous avons adopté le système allemand des autres chemins de fer autrichiens, en redressant le dévers à 145 millimètres au lieu de 182 millimètres, et depuis lors, nous n'avons pas eu d'accident avec nos trains de grande vitesse.

M. Brière a parlé du ripage. C'est la principale cause qui nous a fait adopter les longrines; depuis lors, nous n'avons pas eu de ripage sur la ligne, où la longrine remplace les traverses.

M. Brière. Sait-on ce qui se produit en Angleterre?

M. De Busschere. Les Compagnies anglaises donnent toutes du surhaussement au rail extérieur dans les courbes. Quelques-unes déterminent le surhaussement par la formule de Molesworth $S = W \frac{v^2}{(1.25) R}$ dans laquelle W est la jauge de la voie en pieds, v la vitesse en milles à l'heure et R le rayon de la courbe en pieds. S, le surhaussement, est donné en pouces. D'autres Compagnies déterminent le surhaussement de la façon suivante : Les ouvriers tendent le long du rail intérieur une corde de 66 pieds et relèvent la flèche. Ils ont entre les mains

un tableau qui donne, pour des longueurs croissantes de flèche, les rayons de courbure correspondants et les surhaussements à donner en conséquence. Enfin, quelques Compagnies, et parmi elles je citerai le Great Western, n'ont ni formule ni tableau. Elles admettent que les ouvriers doivent pouvoir, par l'observation, juger quel est le surhaussement qui convient dans chaque cas particulier.

M. Celler (France). La question de la stabilité de la voie est tellement importante qu'il convient de la discuter aussi longuement que possible. Je demanderai donc la permission d'adresser une question à M. Michel. Dans son rapport, il a appelé l'attention de la section sur la question de l'assainissement des plates-formes. Je voudrais savoir si, dans sa pensée, il y a un système à préférer aux autres, et je désirerais connaître son avis sur le meilleur mode d'entretien.

M. Jules Michel. J'ai, en effet, signalé dans mon rapport la nécessité d'assainir parfaitement la voie. En général, l'assainissement est obtenu par les procédés ordinaires. Quand le sous-sol est de mauvaise qualité, on a recours aux fossés longitudinaux, si l'on trouve la place nécessaire dans la plate-forme.

En Angleterre, ces fossés font souvent défaut, et dans ce cas, on fait un petit drainage le long de la voie. Mais quand la plate-forme est argileuse, le fossé ne suffit plus, l'eau séjourne sous la voie, et en compromet la solidité. L'établissement de drains est donc absolument indispensable.

Quant à la seconde question, les moyens d'entretien varient beaucoup, et il serait difficile d'en préconiser un de préférence aux autres. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il faut toujours et partout un entretien très soigné pour assurer la sécurité des trains de grande vitesse.

— La discussion est close.

Séance du 17 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. JULES MICHEL

M. le Président. J'accorde la parole à M. Perk, pour communiquer à la section le rapport contenant l'analyse de la discussion qui a eu lieu sur la question II, littéra D.

M. Perk. « La question II, littéra D, est conçue en ces termes :

« Dispositions propres à assurer la stabilité de la voie sur les lignes parcourues par des trains à grande vitesse. »

« La section avait à sa disposition un rapport de M. Jules Michel.

« M. Michel a commencé par définir, dans son rapport, ce qu'on doit entendre par des trains à grande vitesse : ce sont des trains du poids de 100 à 200 tonnes marchant à des vitesses moyennes de 65 kilomètres au moins, et pouvant atteindre, sur certains parcours, des vitesses de 125 kilomètres à l'heure.

« La stabilité de la voie sous le passage de ces trains à grande vitesse dépend à la fois de la condition d'établissement de ces voies et du type des véhicules, en particulier des machines, appelés à y circuler. Le rapporteur s'est occupé en principe des conditions d'établissement de la voie, et a considéré successivement les rails, les attaches sur les traverses, les éclisses aux extrémités des barres, les traverses, le ballast et la plate-forme.

« M. Michel se résumait comme suit :

« *Rails.* — Le poids des rails doit varier de 40 à 45 kilogrammes pour les voies à coussinets, et de 42 à 52 kilogrammes pour les voies à patins. La longueur des barres varie de 9 à 12 mètres, et la largeur du champignon de 60 à 72 millimètres.

« *Attaches.* — Le nombre des attaches du rail sur la traverse est porté à trois ou quatre.

« Le tire-fond remplace le crampon au moins pour le rail à patin.

« *Éclisses.* — Les éclisses sont renforcées et allongées. On leur donne la forme de cornières pour augmenter leur résistance verticale.

« Avec le rail à patin, l'éclisse allongée repose sur les traverses voisines du joint.

« *Traverses.* — L'espacement des traverses au joint varie de 482 à 660 millimètres; celui des traverses intermédiaires, de 750 à 910 millimètres.

« *Ballast.* — La perméabilité du ballast est recherchée plus que la quantité, et le remplacement du vieux ballast est poursuivi dans l'entretien de la voie avec le même soin que le remplacement des traverses.

« *Sous-sol.* — Les plates-formes des tranchées sont assainies au moyen de fossés ou de drainages, et la couche de ballast augmentée sous la traverse.

« *Machines.* — Les machines les plus usitées pour les trains à grande vitesse

sont pourvues de bogies à l'avant, dont le jeu des roues dans la voie n'est pas le même en France qu'en Angleterre, en Belgique et en Allemagne.

« Dans les discussions, des communications intéressantes ont été faites sur les trains à grande vitesse en Angleterre; sur la manière d'attacher les rails aux traverses suivie autrefois par la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée; sur les rondelles; sur une espèce de boulon Coulon qui facilite énormément le desserrage; sur le cheminement des voies Vignoles en comparaison des voies à coussinets; sur le surécartement à donner dans les courbes et aux changements de voie; sur le dévers à donner dans les courbes au rail extérieur, qui atteint dans quelques parties du réseau d'Orléans même 21 centimètres et semble donner lieu à des ripages qui atteignent 15 centimètres.

« En somme, la 1^{re} section se rallie, en général, aux conclusions de M. Michel mentionnées ci-dessus et propose au Congrès de les adopter. »

— Ce rapport est approuvé.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 20 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. Jules Michel donne lecture du rapport de la 1^{re} section. (Voir ci-dessus le compte rendu de la séance du 17 septembre (après-midi) de la 1^{re} section.)

Il fait remarquer qu'il semblerait à propos de supprimer la partie finale du pénultième alinéa du rapport de la 1^{re} section, ainsi conçue : « et semble donner « lieu à des ripages qui atteignent 15 centimètres ». Ce membre de phrase, dit-il, n'aurait pas dû figurer dans le rapport, parce que c'est de la discussion.

M. le Président. Vous proposez la suppression de ce membre de phrase ?

M. Jules Michel. Oui, monsieur le Président. (*Adhésion.*)

M. le Président. La suppression sera opérée. Quelqu'un demande-t-il la parole sur la partie des conclusions relative aux rails ?

M. Brière. J'ai demandé la parole d'abord pour faire supprimer ce membre de phrase dont vient de parler M. Michel, non parce que c'est de la discussion, mais parce que c'est un renseignement absolument erroné. C'est le contraire qui aurait dû être dit. Du moment où on le supprime, il n'en est plus question, et je n'insiste pas.

Je désire présenter maintenant une autre observation. Après avoir discuté en section, nous avons conclu comme suit : « La 1^{re} section se rallie, en général, aux conclusions du rapporteur et propose au Congrès de les adopter. » Il faut bien interpréter ces mots « en général », et ici tout particulièrement. L'assemblée sera unanime à reconnaître qu'il est impossible de fixer des limites aussi restreintes,

aussi étroites que celles qui sont indiquées dans les conclusions qu'on vient de lire. Personne ne voudra admettre que l'on puisse insérer dans des conclusions que le poids des rails *doit varier* de 40 à 45 kilogrammes pour les voies à coussinets et de 42 à 52 kilogrammes pour les voies à patins. Un poids de 39 1/2 kilogrammes se trouverait dès lors exclu. On a admis en général dans la section que telle était à peu près la limite où l'on devait se tenir. Il importe que cette limite de 40 à 45 kilogrammes ne prenne pas le caractère impératif des conclusions de la section.

M. Jules Michel. Je suis d'accord avec M. Brière. La rédaction n'a rendu ni la pensée du rapporteur, ni celle de la section. Le résumé du rapporteur disait : « le poids des rails varie » et non pas « doit varier ». Cela signifie que pour les lignes à grande vitesse, la tendance est d'augmenter le poids du rail et de le porter désormais aux limites indiquées. Cette tendance s'accuse depuis plusieurs années.

M. Heurteau (France). Il me paraît nécessaire de faire ici une réserve. La tendance à l'augmentation du poids des rails, que signale M. Michel, existe bien ; mais il serait fâcheux de laisser supposer que cette augmentation soit jugée nécessaire pour la stabilité de la voie et la sécurité de l'exploitation. A la Compagnie d'Orléans, nous avons, comme tout le monde, la tendance que constate M. le Rapporteur. Nous faisons l'expérience d'un rail lourd de 42 kilogrammes. Ce n'est point que nous considérons nos rails actuels comme insuffisants au point de vue des garanties de sécurité. Nous sommes poussés à faire cette expérience par des considérations de durée des rails et de limites d'usure. Nous avons depuis longtemps, depuis près de quinze années, entre Paris et Bordeaux, les trains les plus rapides et les plus lourds de tout le réseau français. Aucun fait ne s'est produit qui puisse nous donner lieu de croire que nos voies soient insuffisantes au point de vue de la stabilité. Si nous songeons à augmenter le poids de nos rails, ce n'est pas le moins du monde que nous jugions cette mesure nécessaire au point de vue de la stabilité de la voie et de la sécurité de la circulation des trains. Nous cherchons simplement à obtenir un meilleur roulement et de meilleures conditions d'entretien. Il est important d'éviter à cet égard tout malentendu.

M. le Président. Avez-vous, monsieur Heurteau, une rédaction à proposer ?

M. Heurteau. Non, monsieur le Président. Il suffit que mon observation figure au procès-verbal.

M. de Serres (*Autriche*). Je demande la même rectification que dans la précédente conclusion relative à la question II, littéra C (éclissage des rails). C'est d'ajouter d'une façon précise « pour les voies sur traverses ». Cela s'applique aux quatre premiers paragraphes.

M. le Président. M. Michel ne fait aucune objection à l'addition de ces mots ou à une indication équivalente. Le nécessaire sera fait. M. Michel prépare en ce moment une rédaction qu'il va nous soumettre.

M. Jules Michel. Voici cette rédaction : « Les Administrations qui ont des lignes à grande vitesse ont une tendance à augmenter le poids des rails, qui varie de 40 à 45 kilogrammes pour les voies à coussinets et de 42 à 52 kilogrammes pour les voies à patins. »

M. Hurteau. Il suffirait de dire : « ont une tendance à augmenter le poids des rails ».

M. le Président. Cela paraît être, en effet, la solution la meilleure et celle qui répond le mieux au sentiment de l'assemblée.

Ces chiffres n'en subsisteront pas moins dans le rapport *in extenso* de M. Michel, tel qu'il sera reproduit dans le compte rendu des travaux du Congrès.

M. Cendre (*France*). Il y a une différence de forme grammaticale dans les deux parties de la rédaction. Il semble que le deuxième membre de phrase n'indique qu'un renseignement statistique. On pourrait dire que l'on recommande ces indications-là, ou bien se borner à des constatations de faits. On ne doit pas, dans la première partie de la conclusion, signaler une tendance et l'approuver, et, dans l'autre, se borner à une simple mention de faits.

M. le Président. Est-ce que la section a entendu indiquer une tendance à l'allongement et à l'élargissement des barres?

M. Jules Michel. Il y a tendance à allonger les barres. Le rapporteur a indiqué les longueurs qu'il a constatées d'après les réponses reçues. On pourrait supprimer les chiffres.

M. Hohenegger. La dernière phrase du paragraphe en discussion n'est pas juste. Elle est ainsi conçue : « la largeur du champignon varie de 60 à 72 millimètres ». Or, il y a des champignons qui n'ont pas 60 millimètres de largeur. En Allemagne, on en trouve qui n'ont que 57 à 58 millimètres de largeur.

M. Jules Michel. On doit supprimer les chiffres.

M. le Président. L'observation n'est pas moins utile, puisqu'elle constate que la largeur descend parfois au-dessous de la limite indiquée de 60 millimètres. Elle sera consignée au procès-verbal.

Je crois traduire la pensée du Congrès en proposant de supprimer la partie des conclusions relative à la largeur du champignon et de se borner, pour le surplus, à dire que les Administrations de chemins de fer ont une tendance à augmenter le poids des rails et la longueur des barres. (*Adhésion.*)

Demande-t-on la parole au sujet des attaches?

M. Cendre. On constate le remplacement du crampon par le tire-fond. C'est qu'on trouve au tire-fond une supériorité. Dans une résolution antérieure, relative à la question II, littéra B (fixation des rails Vignoles aux traverses en bois), on avait proposé les crampons pour l'extérieur. Tout est remis en question.

M. Jules Michel. L'observation a toujours un peu le même sens. Le rapporteur a consigné dans son rapport les résultats des réponses qui lui ont été données par les diverses Compagnies qui ont bien voulu répondre aux questions posées. Évidemment, ce sont toujours là des tendances, c'est-à-dire qu'on voit, d'après les réponses envoyées, que beaucoup d'Administrations de chemins de fer, qui autrefois employaient les crampons, les ont remplacés par des tire-fond. D'autre part, on constate également, dans l'intervalle de temps auquel se rapportent les chiffres, que le nombre des attaches, qui était naguère de deux seulement par barre de rail et par traverse, a passé à trois et à quatre. Ce sont encore une fois des tendances. Telle est la marche que suivent les Administrations de chemins de fer pour les réformes qu'elles introduisent dans la pose des voies parcourues par des trains à grande vitesse. Elles arrivent, les unes, à augmenter le nombre des attaches et les longueurs des barres, les autres, à remplacer les crampons par les tire-fond.

Je ne veux pas affirmer que les crampons ne puissent rendre de bons services. J'ai constaté uniquement ce qui se passe sur les lignes où les trains marchent à des vitesses de 70 à 80 kilomètres. Il n'a pas été question des lignes, en grand nombre, où les vitesses sont de 50 à 60 kilomètres et que j'ai cru, d'après le libellé de la question, devoir laisser de côté. Il résulte des réponses données que la tendance des Administrations de chemins de fer ayant de grandes vitesses est d'augmenter le nombre des attaches et de remplacer les crampons par des tire-

fond, ce qui ne veut pas dire que les rails à crampons ne puissent supporter des vitesses considérables.

M. Hohenegger. Puisque la question des tire-fond et crampons a été déjà traitée devant cette assemblée, je propose de laisser : « le nombre des attaches du « rail sur la traverse est porté à trois ou quatre » et de supprimer la deuxième partie de ce paragraphe : « Le tire-fond remplace le crampon au moins pour le « rail à patin. »

M. Jules Michel. Je consens à cette suppression. Je n'ai pas d'amour-propre d'auteur.

M. Cendre. « Le tire-fond remplace le crampon... », cela est difficile à maintenir après ce que nous avons entendu.

M. le Président. La deuxième partie du paragraphe sera supprimée. Y a-t-il des observations sur les éclisses ?

M. Mayer (France). Les éclisses doivent avoir les formes et les dimensions nécessaires pour que la voie présente, aux joints des rails, les mêmes résistances que partout ailleurs, aussi bien dans le plan horizontal que dans le plan vertical. Les éclisses en forme de cornières ont évidemment ce double but et n'augmentent pas seulement la résistance verticale, comme le dit la rédaction proposée.

M. Noblemaire (France). On ne leur donne pas la forme de cornières.

M. Jules Michel. On leur donne des formes repliées.

M. Noblemaire. Ce n'est pas la forme cornière.

M. Jules Michel. Comparée à l'éclisse plate, la cornière aura une plus grande résistance horizontale, et une résistance verticale plus grande que la simple branche verticale toute seule.

M. le Président. Je crois qu'il suffit de supprimer l'épithète « verticale ». (Adhésion.)

M. Cendre. Le problème se pose pour toutes les lignes. Je ne vois pas pourquoi on indiquerait spécialement ce détail de la forme de la cornière. Il y a une tendance manifeste à renforcer les éclisses, lorsqu'on a des rails qui supportent des chocs considérables. On pourrait trouver dans le corps du rapport des renseignements sur les formes adoptées.

M. Jules Michel. Le renseignement était bon à donner, puisque c'est la pratique de toutes les Administrations : soit en Angleterre, soit en France, on reconnaît partout que le joint est faible. Or, il est d'autant plus mauvais que la vitesse est plus grande. C'est dans les lignes à grande vitesse qu'on se préoccupe surtout de rendre le joint plus solide. C'est pourquoi on a pris cette éclisse renforcée, repliée, embrassant le champignon inférieur du rail, quand il s'agit de voies à coussinets, ou en forme de cornière quand il s'agit de rails à patin.

M. le Président. Sous le bénéfice de cette observation, monsieur Cendre, insistez-vous ?

M. Cendre. Non, monsieur le Président.

M. le Président. Votre observation sera consignée au procès-verbal.

Nous adopterons la rédaction suivante : « Les éclisses sont renforcées et allongées. On leur donne la forme de cornières pour augmenter leur résistance. Avec le rail à patin, l'éclisse allongée repose sur les traverses voisines du joint. »

Il est entendu que l'épithète « verticale » est supprimée.

Quelqu'un demande-t-il la parole sur le paragraphe intitulé « traverses » ?

M. Cendre. Il y a là des chiffres absolus : 75 à 91 centimètres. Il y a des lignes parcourues par des trains qui atteignent des vitesses de 75 à 80 kilomètres et où les traverses ont des espacements plus grands. Ce n'est pas absolument exact.

M. le Président. Voulez-vous que nous nous arrêtions à la même détermination que pour le paragraphe relatif aux rails ? Nous avons pris la résolution de supprimer les chiffres statistiques. Il suffira de se référer au rapport.

M. Jules Michel. Je me suis appuyé sur l'espacement des traverses en France et en Angleterre. Le chiffre de 91 centimètres représente la longueur des yards anglais.

M. le Président. Monsieur Michel, quelle est votre proposition définitive ? On pourrait mettre : « généralement, celui des traverses intermédiaires est de 75 à 91 centimètres ».

M. Noblemaire. Il y a une tendance persistante à la diminution de l'espacement des traverses.

M. le Président. Effectivement. Il faudrait indiquer cette tendance.

En ce qui concerne les chiffres statistiques, nous ne pouvons admettre une autre résolution pour les traverses que pour les rails.

M. Cendre. On pourrait indiquer aussi la section de la traverse.

M. Jules Michel. Il y a tendance à rapprocher les traverses de joint aussi bien que les traverses intermédiaires.

M. le Président. On pourrait adopter la rédaction suivante : « Les Administrations de chemins de fer tendent à rapprocher les traverses dans la limite compatible avec les nécessités de l'entretien; l'écartement des traverses de joint est notablement inférieur à celui des traverses intermédiaires. » (*Adhésion.*)

M. le Président. Y a-t-il des observations en ce qui concerne le ballast?

Personne ne demandant la parole, ce paragraphe des conclusions est adopté.

Y a-t-il des observations en ce qui concerne le sous-sol?

Personne ne demandant la parole, ce paragraphe est également adopté.

Quelqu'un demande-t-il la parole sur les machines?

M. Banderali (France). Le paragraphe commence ainsi : « Les machines les plus usitées pour les trains à grande vitesse sont pourvues de bogies à l'avant... »

M. Noblemaire. C'est complètement inexact!

M. Banderali. Je crois, comme M. Noblemaire, qu'il y a des personnes qui trouveront, avec raison, cette rédaction beaucoup trop absolue, quelles que soient leurs préférences pour les locomotives express à bogies à l'avant — et je suis de celles-là. Quant à la seconde partie du paragraphe : « ...dont le jeu des roues dans la voie n'est pas le même en France qu'en Angleterre, en Belgique et en Allemagne », je me demande ce qu'elle veut dire, placée à la suite du premier membre de phrase. Il faudrait supprimer ces mots, puisqu'on n'en comprend pas bien le sens. Tout le monde sait que l'écartement des rails est différent et varie en Angleterre, en Allemagne et en France. Il est inutile de le mentionner incidemment.

M. Jules Michel. La question a été posée par le rapporteur et n'a pas été discutée par la section.

Il vaut donc mieux, dans les conclusions, faire la suppression qui est demandée. L'intention du rapporteur était de provoquer une discussion qui n'a pas eu lieu.

M. Noblemaire. Il y a un premier fait à faire ressortir, c'est que la question

ne rentre pas dans l'objet des discussions de la 1^{re} section. De plus, je m'élève contre l'affirmation que les machines les plus usitées pour les trains à grande vitesse sont celles à bogies. Il y en a beaucoup en Angleterre et en Amérique, quelques unes en France; mais il y a, surtout en France, une bien plus grande quantité de machines sans bogies.

Qu'on dise, parce que c'est un fait constaté depuis dix ans, que l'expérience a démontré que les machines à bogies qu'on redoutait pour les trains à très grande vitesse rendent des services excellents : c'est une vérité; mais qu'on se borne là!

M. Cléraut (*France*). Cette question spéciale ne me semble pas devoir être traitée en ce moment. La 2^e section vous exposera, en effet, quels sont les principaux moyens employés pour faciliter l'inscription des machines locomotives dans les courbes et elle vous parlera en particulier, à ce point de vue, du bogie d'avant. Je crois donc qu'il convient de réserver cette étude pour le moment où la 2^e section la portera devant vous. Elle vous demandera, d'ailleurs, de mettre à l'ordre du jour des 1^{re} et 2^e sections réunies, lors de la prochaine session du Congrès, certains points de la question générale des moyens de faciliter l'inscription en courbe.

M. le Président. Ni le rapporteur, ni le président de la 1^{re} section ne s'y opposant, nous supprimerons complètement le paragraphe relatif aux machines. (*Adhésion.*)

Voici, messieurs, le texte définitif que j'ai l'honneur de vous proposer :

« *Rails.* — Les Administrations de chemins de fer ont une tendance à
« augmenter le poids des rails et la longueur des barres ⁽¹⁾.

« *Attaches.* — Le nombre des attaches du rail sur la traverse est porté à
« trois ou quatre ⁽¹⁾.

« *Éclisses.* — Les éclisses sont renforcées et allongées; on leur donne la
« forme de cornières pour augmenter leur résistance.

« Avec le rail à patin, l'éclisse allongée repose sur les traverses voisines du
« joint ⁽¹⁾.

« *Traverses.* — Les Administrations de chemins de fer tendent à rapprocher
« les traverses dans la limite compatible avec les nécessités de l'entretien; l'écar-
« tement des traverses de joint est notablement inférieur à celui des traverses
« intermédiaires ⁽¹⁾.

(1) Ces conclusions ne s'appliquent qu'aux voies sur traverses.

“ *Ballast.* — La perméabilité des ballasts est recherchée plus que la quantité,
“ et le remplacement du vieux ballast est poursuivi dans l'entretien de la voie
“ avec le même soin que le remplacement des traverses.

“ *Sous-sol.* — Les plates-formes des tranchées sont assainies au moyen de
“ fossés ou de drainages, et la couche de ballast augmentée sous la traverse.

“ Dans les discussions, des communications intéressantes ont été faites sur les
“ trains à grande vitesse en Angleterre; sur la manière d'attacher les rails aux
“ traverses suivie autrefois par la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditer-
“ ranée; sur les rondelles; sur une espèce de boulon qui facilite énormément le
“ desserrage; sur le cheminement des voies Vignoles en comparaison des voies
“ à coussinets; sur le surécartement à donner dans les courbes et aux change-
“ ments de voie; sur le dévers à donner dans les courbes au rail extérieur, qui
“ atteint, dans quelques parties du réseau d'Orléans, même 21 centimètres. ”

— Ces conclusions sont adoptées.

QUESTION III

POSE DE LA VOIE SUR LES PONTS MÉTALLIQUES

Pour la pose de la voie sur les ponts métalliques avec interposition de bois, doit-on donner la préférence au système sur longrines ou à celui sur traverses?

Quels sont, notamment au point de vue de la sécurité, les avantages et les inconvénients qui résultent de la non-interposition du bois?

QUESTION III

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|--|----------|
| Exposé par M. RANDICH | III — 3 |
| Discussion en section | III — 22 |
| — en séance plénière et conclusions. | III — 34 |

EXPOSÉ

Par E. RANDICH

INGÉNIEUR, CHEF DE SECTION A LA SOCIÉTÉ ITALIENNE DES CHEMINS DE FER MÉRIDIONAUX (RÉSEAU ADRIATIQUE)

Avant-propos.

§ 1. — Le grand intérêt que présente, malgré son apparence modeste, la troisième question soumise à la délibération du Congrès international des chemins de fer, n'échappera à personne.

En effet, les ponts et les viaducs métalliques en général, et ceux de grande hauteur en particulier, par cela même qu'ils constituent une solution de continuité dans la plate-forme de la voie, peuvent donner lieu à des accidents d'une gravité incalculable; et il est par conséquent de la plus grande importance, au point de vue de la sécurité de l'exploitation, de pourvoir à ce que la pose de la superstructure sur ces ouvrages d'art offre toutes les garanties de stabilité, tout en permettant d'exercer un entretien et une surveillance faciles.

Une étude approfondie de la question, au point de vue de l'expérience acquise par les différentes Administrations de chemins de fer, serait donc fort utile, car elle permettrait d'indiquer quels sont, parmi les différents systèmes de pose et de fixation de la superstructure de la voie, avec ou sans interposition de bois, adoptés jusqu'à ce jour sur les ponts métalliques, ceux qui se recommandent le plus par leur solidité et par la facilité de leur surveillance et de leur entretien, aussi bien que par leur économie.

Malheureusement, on ne rencontre presque généralement, dans les innombrables descriptions de ponts métalliques qui se trouvent disséminées dans les revues techniques des différents pays, aucune justification ni aucune donnée pratique sur la qualité du système adopté pour la pose et pour la fixation de la superstructure, et nous avons pu constater, en outre, que même les ouvrages spéciaux sur la construction des ponts métalliques ne traitent en général qu'assez sommairement la matière qui nous occupe.

Et comme, d'autre part, les communications des Administrations adhérentes nous sont parvenues en nombre fort restreint, il résulte de tout ce qui précède que notre exposé sera forcément incomplet ; nous espérons cependant qu'il n'en sera pas moins de quelque utilité et qu'il pourra, notamment, faciliter les discussions de la savante assemblée appelée à délibérer sur la question qui nous intéresse.

§ 2. — Les communications qui nous sont parvenues des Administrations adhérentes sont au nombre de deux : l'une, de l'Administration des chemins de fer autrichiens du Nord-Ouest, qui s'exprime textuellement dans les termes suivants :

« On doit donner absolument (*unbedingt*) la préférence au système de pose de la voie sur traverses en bois.

« A ce propos (pose de la voie sans interposition de bois), nous ne possédons aucune donnée comparative, car nous employons exclusivement et avec le meilleur succès, le système de pose sur bois. »

La seconde communication, émanant de l'Administration des chemins de fer autrichiens du Sud (*Südbahn*), est également favorable au système de pose sur traverses, dont elle énumère les avantages, en faisant ressortir en même temps les inconvénients que présentent la pose sur longrines et la pose directe sans interposition de bois.

C'est sur cette dernière communication et sur les résultats de la pratique de l'Administration des chemins de fer méridionaux italiens (pour ce qui a trait à la pose sur longrines), qu'a été basée la rédaction du présent exposé ; nous avons tâché de le compléter en outre au moyen des données puisées dans les publications techniques.

§ 3. — Les principales conditions qu'on doit exiger d'un bon système de pose et de fixation de la superstructure sur les ponts métalliques sont, d'après nous, les suivantes :

1° Stabilité égale, au moins, à celle de la superstructure dans la voie courante;

2° Maintien de l'invariabilité de l'alignement et de l'écartement de la voie, tout en lui conservant l'élasticité nécessaire;

3° Facilité de surveillance et d'entretien. Les pièces interposées entre les rails et les membrures du pont, ainsi que leurs attaches, doivent être visibles, et celles d'entre elles qui seraient avariées doivent pouvoir être remplacées promptement et facilement, tout en limitant, autant que possible, le déplacement du platelage du plancher;

4° Modicité relative des frais de premier établissement et d'entretien;

5° En dernier lieu, un bon système de pose doit pouvoir se prêter, sans causer de sujétions, à l'élargissement et au dévers de la voie dans les alignements en courbe.

On pourra juger par ce qui suit si ces conditions sont remplies, en totalité ou en grande partie, par quelques-uns au moins des systèmes de pose en usage.

A. — Pose sur traverses.

§ 4. — Nous ne nous tromperons probablement pas en affirmant qu'une grande partie des Administrations de chemins de fer pratiquent de préférence, sinon exclusivement, la pose sur traverses dans les ponts métalliques.

Il semble en effet naturel et logique de chercher à étendre à tous les ouvrages d'art le système de pose le plus généralement adopté pour la voie courante, afin d'en retirer tous les avantages qui dérivent de l'uniformité de la voie au point de vue de la sécurité, de la facilité de surveillance et d'entretien, et, enfin, de l'économie.

Il n'y a, tout d'abord, aucun doute que l'entretien et la surveillance de la voie sur les ponts seront d'autant plus parfaits, et une négligence sera d'autant moins probable, que le personnel y affecté n'aura pas à employer des procédés différents de ceux qu'il pratique continuellement dans la voie courante, et avec lesquels il est, par conséquent, complètement familiarisé.

Ensuite, les traverses en bois qu'on emploie sur les ponts métalliques pouvant avoir en général, sauf les cas exceptionnels, les mêmes dimensions que celles de la voie courante, il n'est point nécessaire de se pourvoir d'avance de pièces de bois de dimensions spéciales, bien équarries et de fil suffisamment

droit, et partant plus coûteuses, comme cela se pratique dans la pose sur longrines.

Il est dès lors également inutile de tenir en dépôt des pièces de rechange de dimensions exceptionnelles, puisque les traverses ordinaires, dont on a toujours des provisions à proximité pour l'entretien de la voie courante, y peuvent suffire; ce qui facilite la rapidité du remplacement des pièces avariées, et se traduit en définitive par une économie sur les frais d'entretien.

Il est à remarquer ensuite que les inconvénients qui peuvent se manifester dans la voie par suite des variations de volume et des déformations des pièces de bois sous l'influence des phénomènes atmosphériques, sont plus sensibles dans les longrines que dans les traverses, soit parce que ces dernières ont généralement une longueur limitée, et que, par conséquent, leur déformation est moindre, soit parce que le rail n'est en contact avec chaque traverse qu'en un seul point, circonstance qui facilite aussi le règlement de la voie.

Le système de pose sur traverses constitue en outre le moyen le plus simple d'assurer la solidarité des deux files des rails et de maintenir l'alignement de la voie, et donne aussi un surcroît de rigidité latérale à tout le tablier du pont, notamment dans les cas où la voie est posée sur les semelles supérieures des grandes poutres.

Enfin, la présence des traverses, en subdivisant les vides qui existent entre les pièces de pont, diminue notablement les probabilités d'effondrement des véhicules en cas de déraillement.

§ 5. — Dans les ponts métalliques en alignement courbe, le dévers de la voie est obtenu par différents moyens, généralement très simples.

Lorsque le surhaussement du rail extérieur est faible, on obtient le dévers en pratiquant à la surface inférieure des traverses des entailles de différentes profondeurs, au droit des appuis.

Le rayon de la courbe nécessite-t-il un dévers sensible, alors on emploie avec succès les traverses en forme de coins.

Sur quelques ponts métalliques de la ligne du Saint-Gothard, on a adopté, pour le surhaussement du rail extérieur, des blochets en bois interposés entre le rail et les traverses, auxquelles on conserve alors les dimensions usuelles.

Dans d'autres cas, ces blochets ou coussinets ont été interposés entre la traverse et son appui extérieur (longeron ou poutre).

On a également obtenu de bons résultats, pour des ponts de faible ouverture

(jusqu'à 24 mètres), en établissant les appuis des poutres de rive suivant un plan incliné parallèle à celui du dévers. D'après les conclusions de la huitième assemblée des ingénieurs de l'Union des chemins de fer allemands, cette construction ne paraît cependant applicable que pour les ponts à une voie et jusqu'à une certaine limite de surélévation.

Dans d'autres ponts, le dévers de la voie a été obtenu en disposant les longerons métalliques à différentes hauteurs.

Ces derniers dispositifs ne constituent, du reste, pas une particularité du système de pose sur traverses en bois, car ils sont également applicables au système de pose sur longrines et à celui sans interposition de bois.

Pour ce qui concerne, enfin, l'élargissement de la voie dans les courbes à faible rayon, il ne présente aucune difficulté dans le système de pose sur traverses.

§ 6. — Quant aux moyens d'attache des traverses sur leurs appuis, ils sont en général fort peu compliqués.

Le dispositif le plus commun consiste à pratiquer deux entailles au droit des appuis de la traverse, ce qui suffit généralement à en empêcher le déplacement dans le sens transversal à la voie, et à la fixer ensuite auxdits appuis au moyen d'un ou de deux boulons verticaux, disposés en quinconce de part et d'autre de la tige de chaque appui (poutre de rive ou longeron).

Le plus souvent, ces boulons, qui traversent la pièce de bois, sont engagés dans des trous pratiqués aux semelles supérieures des organes sur lesquels les traverses prennent appui. L'extrémité supérieure de ces boulons est filetée et munie d'un écrou qui s'appuie sur la face supérieure de la traverse.

On a remplacé souvent, avec succès, les boulons verticaux à tête prismatique par des boulons ayant la tête munie d'un bec, qui prend son point d'appui en dessous du bord de la semelle. Cette disposition, qui permet d'éviter la perforation des semelles, a en outre l'avantage de faciliter le remplacement des traverses, car il suffit de desserrer légèrement les écrous, pour pouvoir enlever la pièce de bois à remplacer ensemble avec ses boulons d'attache, qu'on peut alors adapter à la nouvelle traverse avant de la mettre en place.

Dans nombre de cas, on a ajouté aux boulons verticaux des fers pliés d'équerre, ou des tronçons de cornières, placés en contact des faces latérales de la traverse et rivés en travers des semelles des poutres ou des longerons.

Cette disposition, que quelques ingénieurs considèrent comme superflue, semble cependant être utile dans les cas de ponts placés en rampe.

Nous avons eu, en effet, l'occasion de constater dans quelques ponts métalliques du chemin de fer de la Poutebba, que les traverses tendaient à cheminer dans la direction de la pente et que, pour empêcher leur déplacement, on avait dû les étayer en intercalant provisoirement des pièces de bois placées sur chaque file de longerons.

§ 7. — Le système de pose sur traverses présente quelques inconvénients qu'il est utile de signaler.

Il est à remarquer tout d'abord que ce système n'est pas applicable aux ponts dépourvus de longerons métalliques (sauf les cas où la superstructure est posée directement sur les maîtresses poutres), à moins qu'on n'intercale, au détriment de l'économie, des longrines en bois faisant office de longerons, comme cela se pratique encore parfois dans les pays riches en bois.

Par conséquent, dans tous les cas où les pièces de pont seraient rapprochées au point de rendre superflue, sous le rapport de la stabilité de la voie, l'adjonction de longerons métalliques, il serait plus avantageux de recourir à la pose sur longrines.

Il est juste d'ajouter cependant que ces cas deviennent de plus en plus rares, car il semble qu'il y ait depuis quelque temps tendance à augmenter l'écartement des pièces de pont, le calcul ayant démontré que la distance la plus convenable à donner à ces organes, au point de vue de l'économie du métal, est supérieure en général à ce qui a été pratiqué souvent jusqu'à ce jour.

Dès lors, l'adjonction des longerons métalliques devrait s'imposer, quel que soit le système de pose de la voie.

Cependant, quelques Administrations hésitent à augmenter l'écartement des pièces de pont, car elles estiment que la plus grande proximité de ces organes entre eux constitue un obstacle à l'effondrement des véhicules en cas de déraillement.

Ainsi dans les ponts des chemins de fer méridionaux italiens, il est d'usage de placer le plus souvent les entretoises à la distance de 1^m60 à 2 mètres, distance qui permettrait encore de donner passage à la voie à l'aide de simples longrines en bois de dimensions qui ne soient pas excessives. Et si, malgré cela, l'Administration des chemins de fer méridionaux a adopté, même pour les écartements susmentionnés, l'emploi de longerons ou de longrines métalliques jumelées, c'est qu'elle estime que pour la pose de la voie sur les ponts, la sécurité prime de beaucoup l'économie. En conséquence, elle a admis pour principe dans ses calculs

statiques que la longrine en bois n'est qu'un simple intermédiaire élastique destiné à recevoir le rail et ses attaches et à amortir les chocs et les vibrations produites par les charges roulantes.

La pose sur traverses n'est non plus applicable au type de ponts à poutres jumelles, type qui se rencontre assez fréquemment sur certaines lignes parcourant des plaines, et aux approches des villes et, en général, dans tous les cas où la hauteur disponible pour la constitution du tablier est fort limitée.

Il est vrai que dans ces cas certaines Administrations préfèrent recourir à la pose directe sans interposition de bois.

Mais il n'en résulte pas moins de tout ce qui précède que, contrairement à ce qui a lieu pour la pose sur longrines, le système de pose sur les traverses ne semble pas susceptible d'une application absolument générale.

§ 8. — Un autre inconvénient que présente la pose sur traverses et qui est du reste commun à la pose sur longrines, quoique, nous semble-t-il, à un degré beaucoup moindre, c'est le péril des incendies qui peuvent être causés par les escarbilles enflammées tombant du cendrier des locomotives.

Ce péril est certainement de nature à préoccuper, à cause des graves accidents auxquels il peut donner lieu; aussi voyons-nous les Administrations de chemins de fer s'appliquer à prévenir ces dangers, soit en imposant un redoublement de surveillance, soit en adoptant des dispositifs aptes à empêcher le brûlement des traverses.

Le moyen le plus simple et le plus généralement pratiqué consiste à recouvrir le bois d'une couche plus ou moins épaisse de ballast, laquelle sert à préserver en même temps les traverses et le platelage en bois du pont.

Ce procédé semble cependant avoir l'inconvénient de cacher à la vue aussi bien le platelage que les traverses, et d'en rendre, par conséquent, la surveillance d'autant plus difficile.

Il facilite, en outre, la pourriture du bois, surtout lorsque le ballast est menu et chargé d'impuretés.

Souvent d'ailleurs le ballast se disperse, ou s'amoncelle dans certains endroits, en laissant à nu le bois dans certains autres, sous l'effet des trépidations du tablier, et cela donne lieu à un surcroît de frais d'entretien pour rendre à la couche de ballast son épaisseur et son uniformité primitives.

Ce procédé a aussi l'inconvénient d'obliger à déplacer une partie du plancher toutes les fois qu'on a à examiner l'état des traverses, ou qu'on doit procéder

au remplacement de quelques-unes d'entre elles. D'ordinaire, le platelage est fixé directement aux traverses à l'aide de boulons ou de simples clous, et le déclouage et le déplacement répétés des madriers en accélèrent la détérioration.

Il semble dès lors préférable, à ce point de vue et à celui de la plus grande facilité d'inspection et de remplacement des traverses, de ne pas fixer le platelage directement à ces dernières.

Au nouveau pont de Compiègne, sur la ligne d'Amiens à l'Ourcq, ainsi que sur d'autres ponts de la Compagnie du Nord français, on a établi un plancher général en bois accusant deux trottoirs de part et d'autre de la voie.

Les traverses sont recouvertes par des panneaux mobiles qui peuvent se déplacer facilement lors des substitutions et quand il y a lieu de repeindre les pièces de pont.

Ces panneaux sont recouverts d'une légère couche de ballast.

On peut aussi éviter le déplacement du plancher, lors du remplacement des traverses, en le constituant complètement de traverses presque jointives posées en dessous des rails et prolongées, de part et d'autre, en porte-à-faux, de façon à embrasser toute la largeur du tablier, comme cela se pratique couramment, entre autres, sur la ligne de Venlo à Hambourg.

§ 9. — Le système de pose sur traverses est peu compatible avec l'emploi des planchers en tôles striées, dont l'usage a été admis par plus d'une Administration de chemins de fer.

Nous écarterons tout d'abord, à cause de ses inconvénients évidents, le dispositif consistant à placer ce platelage métallique sur les traverses mêmes. Dès lors, il ne reste qu'à le placer en dessous. Cette disposition a été adoptée aux viaducs métalliques d'Alaï, de l'Iseron et du Juron, sur le chemin de fer à voie étroite de Lyon, Saint-Just à Mornant.

La voie y est posée à la partie supérieure des poutres, et le platelage en tôles striées règne sur toute la largeur du tablier, auquel il est fixé par des rivets.

Cela donne une grande raideur au tablier et permet de supprimer les contreventements supérieurs. Mais les traverses restent exposées aux dangers d'incendie et constituent en outre une sujétion au passage du personnel de la voie et un empêchement à celui des transports militaires.

Nous mentionnerons encore un dernier inconvénient qui semble inhérent aux systèmes de pose sur appuis espacés, et, par conséquent, aussi à celui sur traverses.

Dans la pose sur longrines, l'appui du rail étant continu, on peut toujours pousser sur les ouvrages d'art la voie courante, sans changement d'allure.

Dans la pose sur traverses, au contraire, lorsque les longerons sont placés, comme cela a lieu le plus souvent, avec leurs semelles supérieures en contre-bas de celles des entretoises, on doit combiner la répartition des traverses de façon à éviter les entretoises et à conserver en même temps aux joints des rails des appuis convenablement rapprochés, tout en tâchant d'obtenir une distribution régulière des traverses.

Or, cette circonstance oblige le plus souvent à intercaler dans la voie, aux abords du pont, des rails de longueurs exceptionnelles, ce qui constitue certainement une sujétion.

B. — Pose sur longrines.

§ 10. — La circonstance que la pose sur longrines est encore en usage sur nombre de chemins de fer, quoique la voie courante y soit posée sur traverses, est motivée principalement par les avantages suivants que ce système présente sur la pose sur traverses :

1° Uniformité et continuité de l'appui de la voie, et, par conséquent, plus grande douceur à la circulation des trains et moindre danger en cas de rupture des rails ;

2° Possibilité de pousser la voie, comme nous l'avons déjà fait remarquer, sur les ponts métalliques, sans changement d'allure ; car, l'appui étant continu, on n'a nullement à se préoccuper de la répartition des joints, et la sujétion des rails de longueurs exceptionnelles reste, par conséquent, complètement éliminée ;

3° La pose sur longrines est applicable à tous les types de ponts métalliques, quels qu'ils soient, sauf les cas où la hauteur entre le dessus du rail et le dessous de la poutre est tellement restreinte, que même l'adoption de poutres jumelles ne suffit pas à résoudre la difficulté et que, dès lors, on est obligé de recourir à la pose sans interposition de bois.

Il est à remarquer, en outre, que la longrine se trouve généralement à découvert sur toute sa longueur et, à l'exception de la zone occupée par le patin du rail, sur toute sa surface supérieure, qui n'est pas recouverte par le plancher, — ce qui en facilite l'inspection.

Il semble de plus que, par suite de sa disposition longitudinale à l'aplomb du rail, la longrine offre moins de prise à l'incendie, et, en tout cas, plus de difficultés à sa propagation.

On doit noter encore que dans le système de pose sur longrines, ces pièces n'ayant généralement aucun contact avec le plancher, on pourra toujours adopter pour ce dernier tel système qu'on voudra, sans crainte ni de devoir toucher aux longrines pour pouvoir procéder à sa réparation, ni de devoir déplacer le plancher afin de procéder au remplacement de la longrine, pourvu, bien entendu, que les attaches de cette dernière au tablier soient disposées de manière à rendre inutile le déplacement du platelage.

Rien non plus ne s'oppose, dès lors, à l'adoption des planchers en tôles striées, dont l'usage semble se répandre, et cela même lorsque ces planchers sont disposés en dessous de la voie, parce que la grande durée du métal rend peu probable et en tout cas fort éloigné le remplacement du platelage, et exclut, par conséquent, la nécessité de fréquents déplacements de la superstructure.

Nous citerons à ce propos l'exemple du viaduc de Marly-le-Roi, sur le chemin de fer de l'Étang-la-Ville à Saint-Cloud, du pont de la Vallière, sur la ligne de Châlons-sur-Saône à Lons-le-Saulnier, et, enfin, du viaduc métallique pour la traversée du Val-Saint-Léger et de plusieurs autres ponts du chemin de fer de grande ceinture de Paris.

La voie y est posée sur longrines, et le platelage est formé de tôles striées rivées sur tout leur pourtour à la charpente métallique qui les supporte.

Enfin, l'emploi de la pose sur longrines en bois offre la possibilité de supprimer les longerons métalliques toutes les fois que les pièces de pont sont suffisamment rapprochées.

Il est à observer toutefois que, lorsque les longrines reposent sur toute leur longueur sur les semelles des poutres ou des longerons, elles se trouvent dans de bien meilleures conditions de résistance et de durée que celles qui sont simplement posées sur des entretoises plus ou moins espacées.

§ 11. — Le premier des avantages mentionnés précédemment et consistant dans la continuité et l'uniformité de la voie (avantage qui n'a déjà une réelle valeur que pour la voie en rails Vignoles), peut devenir illusoire, si l'on n'observe pas la précaution d'employer exclusivement des longrines suffisamment sèches et régulièrement équarries, de droit fil et non noueuses, et de fixer bien soli-

dement ces pièces de bois à la charpente métallique. Par suite de leur plus grande longueur, les longrines sont sujettes à se déjeter à un plus haut degré que les traverses, et le règlement de la voie en devient d'autant plus difficile.

Le jeu continu du bois sous l'influence des variations atmosphériques provoque à la longue le desserrement des écrous des boulons d'attache à la charpente métallique et, si la surveillance n'est pas suffisamment active, la stabilité et l'alignement de la voie finissent par en souffrir ; au lieu de reposer sur toute sa longueur, elle n'appuie plus que par intervalles plus ou moins espacés, ce qui donne lieu à un surcroît de fatigue dans le rail et peut causer l'arrachement de ses attaches à la longrine.

Cette tendance à la déformation semble plus marquée dans les longrines en chêne. C'est pourquoi quelques Administrations avaient essayé d'y substituer d'autres espèces de bois. Ainsi, dans les anciens chemins de fer romains, l'usage du mélèze pour la confection des longrines était assez répandu.

Ces pièces se déformaient généralement fort peu. Malheureusement, ce bois se détériore assez rapidement et les crampons y tiennent moins solidement que dans le chêne.

D'autre part, les longrines en chêne semblent avoir une tendance marquée à se fendre et à se gercer sous l'action de la sécheresse et des nombreux moyens d'attache tels que les boulons, les crampons, etc., qui se trouvent généralement disposés à peu près sur une même ligne de part et d'autre du rail.

Cet inconvénient se manifeste particulièrement aux abouts de la longrine, et le haut degré de température qu'acquiert la charpente métallique dans les journées d'été, ainsi que les gelées de l'hiver, en activent sensiblement l'extension. On est alors obligé de déplacer les crampons qui ne tiennent plus, au risque de créer de nouvelles fentes dans le bois ; et on finit par être obligé de remplacer la longrine avant le terme de sa durée normale.

Enfin, dans la pose sur longrines, la solidarité entre les deux files de rails qui, dans la pose sur traverses, est obtenue à l'aide des traverses mêmes, fait complètement défaut.

On est par conséquent obligé de recourir à des dispositifs spéciaux pour garantir l'invariabilité de l'écartement et de l'alignement de la voie et pour en empêcher, en un mot, les déformations latérales.

Telles sont, nous semble-t-il, les principales objections qu'on puisse faire à l'emploi de la pose sur longrines, car elles concernent, en résumé, la sécurité de la circulation des trains, qu'on ne peut dès lors garantir complètement qu'à

condition de ne négliger aucune des précautions citées plus haut : emploi de longrines de choix, surveillance et entretien très soignés, adoption d'un système d'attache suffisamment solide et bien entendu ; ce qui doit se traduire, en définitive, en un surcroît de frais de premier établissement et d'entretien.

§ 12. — Nous ajouterons, à titre de renseignement, que le système de pose de la voie sur longrines a été pratiqué de tout temps sur les chemins de fer italiens et qu'il y est actuellement, croyons-nous, d'un usage presque général, d'autant plus que, dès l'année 1882, une commission composée d'ingénieurs de chemins de fer et de fonctionnaires du gouvernement italien, chargée par ce dernier d'étudier et de proposer les mesures aptes à obtenir l'uniformité de la voie, s'est prononcée en faveur de la pose sur longrines dans les ponts métalliques.

Sur les chemins de fer méridionaux italiens, en particulier, l'emploi des longrines en bois pour la pose de la voie sur les ponts, aussi bien que celui des tabliers en tôles striées, sont réglementaires dans la construction des nouveaux ponts ; et on substitue même, toutes les fois que l'occasion s'en présente, les longrines aux traverses dans les quelques ponts sur lesquels ce dernier système de pose avait été admis précédemment, et les platelages métalliques aux platelages en bois existants.

C'est dire que les Administrations italiennes n'ont pas lieu d'être mécontentes du système de pose adopté, d'autant plus que le chêne étant relativement à bon marché en Italie, la question des frais de premier établissement et de remplacement n'a pu encore exercer aucune influence contraire à cette décision.

§ 13. — Dans les ponts métalliques en alignement courbe, le dévers de la voie sur longrines est obtenu le plus communément en augmentant en raison du dévers la hauteur de la longrine du rail extérieur, procédé très simple et peu coûteux, puisque, dans la majorité des cas, il n'exige même pas l'emploi de longrines de dimensions excessives.

Ce procédé peut même s'appliquer sans désavantage aux cas extrêmes, c'est-à-dire dans les courbes à très faible rayon. En effet, la hauteur de la longrine pouvant généralement être limitée à 0^m15 ou 0^m16 et sa largeur habituelle étant de 0^m26 à 0^m30, on voit qu'en y ajoutant un surcroît de hauteur correspondant au plus grand surhaussement du rail extérieur, on obtiendra encore des dimensions transversales qui n'auront rien d'extraordinaire. Rien n'empêche

d'ailleurs, si l'on croit convenable d'éviter l'emploi de longrines de hauteurs exceptionnelles, de recourir, selon les cas, soit à la pose des appuis des poutres en un plan incliné parallèle à celui du dévers, soit à l'emploi d'entretoises à semelles supérieures inclinées, soit à l'emploi de blochets en bois intercalés entre la longrine extérieure et les entretoises, soit enfin à la pose des longerons à des hauteurs différentes.

Il est vrai toutefois que dans ce dernier cas on perd en partie le bénéfice de la continuité de l'appui du rail et de l'allure de la voie courante ; car la file des longerons intérieurs à la courbe devant alors être fixée en contre-bas des entretoises, les longrines correspondantes seront forcément interrompues à l'encontre de chacune de ces pièces de pont.

Quant à l'élargissement de la voie dans les courbes à faible rayon, il ne présente aucune difficulté, puisque la longrine a généralement une largeur suffisante pour permettre le léger déplacement du rail qu'exige cette mesure.

§ 14. — Pour ce qui concerne les moyens de fixation des longrines en bois à la charpente métallique, ils sont généralement plus compliqués dans leur ensemble que ceux en usage dans la pose sur traverses, car ils ont le double but de rendre la longrine solidaire avec la charpente métallique et d'empêcher en outre les déplacements latéraux et le renversement de ces pièces de bois, afin d'établir indirectement la solidarité des deux files de rails, de façon à assurer l'invariabilité de l'écartement et de l'alignement de la voie.

La disposition la plus commune consiste à fixer la longrine aux pièces du tablier à l'aide de boulons verticaux convenablement espacés et s'engageant soit dans les trous de rivets, soit dans des trous spéciaux pratiqués aux semelles supérieures des poutres.

D'ordinaire, les longrines sont coupées carrément à la scie et leurs abouts sont juxtaposés sur l'axe des pièces de pont, soit qu'elles s'étendent à plat d'une entretoise à l'autre, sans appuis intermédiaires, soit qu'on les soutienne sur toute leur longueur par des longerons métalliques, dont les semelles supérieures affleurent les pièces de pont.

Parfois aussi, les extrémités des longrines sont assemblées à demi-bois.

Dans l'un et l'autre cas, on a toujours la précaution d'assurer la stabilité latérale de la longrine en appliquant à ses flancs une ou deux cornières rivées transversalement aux semelles des pièces de pont, dont elles embrassent toute la largeur.

Deux boulons horizontaux placés de part et d'autre de l'axe de l'entretoise et traversant de part en part la longrine, servent à la fixer aux cornières susmentionnées et à constituer, par l'intermédiaire de ces dernières, une liaison entre les extrémités des pièces de bois.

Lorsque les longrines sont interrompues à chaque pièce de pont et posées sur des longerons placés en contre-bas desdites pièces, on peut encore conserver la disposition décrite précédemment en prolongeant chaque cornière en porte-à-faux de chaque côté de l'entretoise.

Aux chemins de fer méridionaux italiens, cette disposition étant jugée insuffisante à assurer complètement l'invariabilité de l'écartement et de l'alignement, on a l'usage d'ajouter des fers plats pliés en \sqsubset , convenablement espacés et fixés aux semelles supérieures au moyen de rivets.

La longrine vient s'encaisser dans ces tronçons d'augets, auxquels elle est en outre fixée au moyen de boulons horizontaux.

Cette disposition est pratiquée toutes les fois que l'écartement des entretoises est supérieur à 1^m80 environ.

Lorsque, au contraire, l'entraxe des entretoises est inférieur à ce chiffre et que les conditions locales permettent, comme cela a lieu le plus souvent, d'étendre les longrines à plat d'une pièce de pont à l'autre, on les encaisse sur toute la longueur du pont dans des longrines métalliques jumelées de forme spéciale, fixées au moyen de rivets aux semelles supérieures des entretoises et reliées entre elles, à leur surface inférieure, par de petites entretoises convenablement espacées.

Des boulons verticaux et horizontaux servent à fixer la longrine aux pièces jumelées.

Ce système donne à la voie une grande rigidité et oppose une grande résistance au déjettement des pièces de bois. Il a toutefois l'inconvénient de rendre moins facile le remplacement des longrines détériorées.

L'usage des boulons verticaux, tel que nous venons de le décrire, a l'inconvénient d'obliger à déplacer une partie du plancher toutes les fois qu'on doit procéder au remplacement d'une longrine.

Or, quelle que soit la nature du platelage, il ne peut être qu'avantageux, au point de vue de sa bonne conservation, de n'y toucher que le plus rarement possible.

On pourrait toutefois éviter cet inconvénient en faisant usage du dispositif adopté pour les longrines de la voie au viaduc métallique du Val-Saint-Léger

sur le chemin de fer de grande ceinture de Paris, ainsi qu'au viaduc de Marly-le-Roi.

Dans ces deux ouvrages d'art, les longrines de la voie sont fixées aux semelles supérieures des grandes poutres de la manière suivante : On a réservé dans ces semelles des trous, dans lesquels on engage le corps d'un boulon vertical. La longrine est comprise entre deux boulons de ce genre appliqués très exactement contre ses faces verticales. Lorsqu'elle est posée, on rapporte par-dessus une bande de fer plat de 0^m42 sur 0^m07 et de 0^m04 d'épaisseur, dont les deux extrémités sont pénétrées par la partie supérieure filetée de deux boulons.

Deux écrous serrent la bande de fer contre la face supérieure de la longrine. Ce mode d'attache a l'avantage d'empêcher les longrines de se déplacer horizontalement, ou de se cintrer dans le sens vertical, ce qui arrive infailliblement lorsque le bois commence à jouer ; il donne en résumé à la voie une rigidité parfaite. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1882, 2^e sem., p. 416.)

C. — Pose de la voie sans interposition de bois.

§ 15. — Les principaux motifs qui paraissent avoir induit certaines Administrations à adopter ce système de pose sont, d'après nous, les suivants :

1^o La tendance à éliminer le bois des ouvrages d'art, à cause de la rapidité et de la facilité avec lesquelles il se détériore et se déforme, et afin d'éviter complètement les périls d'incendie qu'il présente ;

2^o L'adoption de la superstructure entièrement métallique dans la voie courante, et, par suite, le désir légitime d'étendre cette superstructure aux ponts métalliques ;

3^o La plus grande sécurité qu'on attribue à ce système de pose, par suite de la plus grande invariabilité qu'il donne à l'alignement et à l'écartement de la voie, et de la solidité de ses attaches (nous devons toutefois faire remarquer que sur ce dernier point les opinions semblent être assez partagées) ;

4^o La nécessité, dans certains cas, de réduire autant que possible l'épaisseur du tablier, c'est-à-dire la hauteur entre le dessus du rail et le dessous de la poutre.

Il nous est impossible de présenter un aperçu assez complet des avantages et

des inconvénients réels du système de pose sans interposition de bois, soit à cause de la grande variété des types de superstructure entièrement métallique en usage et des dispositifs adoptés pour fixer la voie sur les ponts, soit à cause de l'extrême pénurie des renseignements fournis à cet égard par les Administrations adhérentes et l'absence presque complète de données expérimentales dans les publications des différents pays.

Nous nous limiterons par conséquent à exposer sommairement quelques considérations qui nous semblent de nature à pouvoir faciliter la discussion en séance.

§ 16. — Il résulterait de ce que nous venons de dire au commencement du précédent paragraphe, que le système de pose sans interposition de bois présente sur les autres systèmes les avantages suivants :

Une plus grande sécurité due à la solidité des attaches et à l'absence d'organes faciles à se déformer, à se détériorer et à s'enflammer, tels que les traverses et les longrines en bois ;

Une économie de frais de premier établissement et d'entretien, par suite de la non-interposition du bois.

Sur les lignes à superstructure entièrement métallique, l'extension aux tabliers des ponts métalliques des systèmes de pose adoptés dans la voie courante présenterait en outre tous les avantages qui dérivent de la complète uniformité de la voie.

Nous observerons toutefois que, d'après les informations qui nous sont parvenues de l'Administration des chemins de fer du Sud de l'Autriche et qui concordent avec l'opinion de nombre d'ingénieurs sur ce sujet, les avantages, au point de vue de la sécurité, de la pose directe — du moins telle qu'elle est le plus souvent pratiquée, c'est-à-dire avec l'interposition de selles métalliques ou de plaques continues entre le rail et les poutres ou les longerons — sont assez discutables.

En effet, l'expérience semble avoir démontré que, dans nombre de cas, les attaches du rail et des selles à la charpente métallique ne résistaient pas à la longue : les trous dans lesquels s'engagent les boulons d'attache se déformaient et s'élargissaient, et leurs écrous se desserraient sous l'influence des chocs et des trépidations produites par les charges roulantes.

On a même constaté, dans nombre de cas, le desserrement des rivets les plus rapprochés des selles métalliques, dans celles des membrures de la char-

penne sur lesquelles la voie se trouvait posée directement (poutres, longerons, entretoises).

Il semble, par suite, évident que l'absence d'un intermédiaire élastique propre à amortir l'effet des trépidations et des efforts dynamiques doive aussi exercer une influence nuisible sur la stabilité de la charpente métallique et de ses assemblages et, notamment, sur les pièces qui portent directement la voie.

La grande raideur, enfin, de la voie sans interposition de bois sur les ponts, en rend, dit-on, désagréable le parcours aux voyageurs.

§ 17. — Les avantages de la pose directe semblent également discutibles au point de vue de l'économie des frais de premier établissement et d'entretien; car si, d'une part, l'élimination du bois donne lieu à une économie, cette économie sera, d'autre part, plus ou moins absorbée par les frais qu'impose l'emploi de moyens de fixation plus compliqués et dont l'entretien sera aussi plus coûteux, puisqu'ils sont sujets à se desserrer et à se détériorer à la longue.

Quant aux bénéfices de l'uniformité de la voie, question qui n'intéresse, naturellement, que les chemins de fer à superstructure entièrement métallique, ils peuvent également devenir illusoires dans nombre de cas, à cause de la grande complication de formes que présentent certains types de superstructure qui, par suite, se prêtent très difficilement à la pose directe sur la charpente métallique des ponts.

Aussi voyons-nous, dans le plus grand nombre de cas, que, lorsque la superstructure métallique est du type Vignoles sur longrines métalliques, ces longrines sont généralement arrêtées aux abords des ponts pour y faire place, soit à la pose sur traverses ou sur longrines en bois, soit à la pose sur selles métalliques.

Nous ferons remarquer, en passant, que ce dernier procédé est conforme aux conclusions de la 8^e réunion des ingénieurs de l'Union des chemins de fer allemands (Stuttgart, juin 1878), pour ce qui concerne le mode de superstructure à employer sur les ponts, dans le cas où les rails sont posés sur longrines en fer.

Nous ajouterons que dans les quelques cas où, malgré leur forme compliquée, l'on a voulu prolonger les longrines de la voie sur les ponts métalliques, on a dû recourir souvent à l'emploi du bois.

Ainsi, sur les chemins de fer de la Thuringe, on a posé la longrine du type

Hilf sur les charpentes métalliques avec l'intermédiaire de doubles bourrelets ou blochets en bois, convenablement espacés.

Un autre exemple semblable nous est offert au pont de Buley, sur la Moselle.

§ 18. — Nous n'avons mentionné jusqu'ici que deux systèmes de pose sans interposition de traverses ou de longrines en bois : la pose directe du rail sur la charpente du pont avec l'intermédiaire de plaques continues ou de selles métalliques, et la pose, assez rare, croyons-nous, de l'entière superstructure métallique (rail et longrine) sur le pont.

Or, il est un troisième système de pose sans interposition de bois sur lequel nous croyons devoir attirer l'attention, parce qu'il nous semble réaliser à un plus haut degré quelques-uns des avantages qu'on attribue à la non-interposition du bois, tout en présentant à un moindre degré les inconvénients des deux systèmes précédents. Nous voulons parler de la pose sur traverses métalliques.

L'usage de ce système n'est pas récent. On en trouve, par exemple, une application au grand viaduc de l'Iglava, en Autriche-Hongrie.

La voie Vignoles y est posée sur des traverses métalliques, fixées à sept longerons en fer double T, qui sont à leur tour rivés aux entretoises du pont.

Dans les ponts de construction plus récente, tels que le pont sur le Rhin à Rhenen et d'autres ponts hollandais, les traverses métalliques sont posées sur des longerons placés entre les pièces de pont. Souvent ces traverses sont presque jointives et prolongées sur toute la largeur du tablier, de façon à constituer en même temps un plancher métallique d'une grande solidité.

Ce dispositif, dont l'emploi, combiné avec la pose sur traverses, a aussi été adopté au célèbre viaduc de Garabit, est assez coûteux.

Aussi a-t-on cherché, dans les ouvrages d'art plus récents, à atténuer le surcroît de dépense qui dérive de son application, en posant les traverses directement sur les grandes poutres, ce qui permet de supprimer les longerons et de substituer aux pièces de pont de simples barres en fer laminé, soit à T, soit d'autre forme, qui complètent en même temps les panneaux de l'entretoisement vertical. Cette disposition, qui n'est du reste applicable qu'aux ponts à passage supérieur et pour autant que la distance d'axe en axe des grandes poutres n'outrepasse pas une certaine mesure, a été récemment adoptée sur les chemins de fer à voie étroite de la Saxe au pont sur la Kipper et au viaduc de Weida, pour la traversée de la vallée d'Oschütz.

La voie, dont la superstructure entièrement métallique consiste en rails

Vignoles sur longrines de forme spéciale des forges de la Reine Marie (Königin Marienhütte), est posée sur des traverses en fer Zorès presque jointives, qui prennent leurs points d'appui sur les maîtresses poutres avec l'intermédiaire d'un fer méplat continu de 0^m05, placé sur l'axe longitudinal des semelles supérieures.

Cette disposition a pour but de reporter presque exactement sur l'axe des poutres le poids du tablier et de la surcharge et d'éviter par là que les semelles supérieures soient soumises à des efforts de torsion.

Il nous semble donc pouvoir déduire de ce qui précède que le système de pose sur traverses métalliques doit être tout d'abord préférable, au point de vue de la sécurité, aux autres systèmes de pose sans interposition de bois, car l'élasticité dont sont dotées ces traverses doit amortir sensiblement les trépidations et les chocs causés par les charges roulantes, et diminuer par là notablement l'action nuisible que ces phénomènes exercent sur la charpente métallique et, surtout, sur les attaches de la superstructure.

Il offre en outre l'avantage, lorsque les traverses sont presque jointives, de constituer un plancher très solide et de grande durée et d'offrir en même temps au rail, ou à sa longrine, un appui presque continu.

En second lieu, pour ce qui concerne les lignes à superstructure métallique, la complète uniformité de la voie semble plus facile à obtenir avec ce système, notamment lorsque la voie courante est posée sur traverses types Vautherin ou Zorès et leurs dérivés, dont la forme se prête convenablement à la pose directe sur les charpentes métalliques.

Ancône, juillet 1889.

DISCUSSION EN SECTION



(1^{re} SECTION)



Séance du 17 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. E. RANDICH

M. le Président. La parole est à M. Randich, ingénieur, chef de section à la Société italienne des chemins de fer méridionaux (réseau Adriatique), pour nous présenter l'exposé de la question III.

M. Randich résume l'exposé de la question qu'il a été chargé de rédiger.

— La discussion est ouverte.

M. M. von Leber (*Autriche*). Je crois qu'il y a quelque chose à ajouter à ce rapport et aussi quelques rectifications à y faire en ce qui concerne l'Autriche.

Il y est dit que, dans ce pays, on est unanimement d'accord pour donner la préférence au système consistant à poser la voie sur traverses en bois, au passage des ponts comme sur le remblai ordinaire.

Pour ma part, je ne connais guère de ponts, chez nous, où la voie soit ainsi établie; elle ne pourrait l'être, d'ailleurs, qu'à la condition de prolonger le ballast sur les ponts, ce qui est possible lorsque ceux-ci sont construits avec briques ou tôles embouties, supportées par les poutres transversales. En général, et même dans le cas spécial que je viens de citer, la voie présente toujours sur les ponts

un caractère de stabilité dont elle est dépourvue sur le remblai courant, où il faut constamment y retoucher pour maintenir uniformément le niveau voulu ; il ne peut donc être question d'uniformité.

La pose de la voie sur les ponts métalliques est une question toute spéciale et qui ne saurait comporter une seule et même solution. Ceci m'amène à faire quelques observations. Un point important à considérer, c'est la manière de faire le joint des rails. Il y a des joints supportés et des joints en porte-à-faux. On a essayé successivement ces deux systèmes, mais la question n'est pas encore entièrement résolue ; je puis dire cependant qu'en Autriche, on semble préférer le joint en porte-à-faux. Nous avons eu, sur les ponts d'abord, les joints supportés ; c'était le système ordinaire, le plus commode parce que les traverses s'espacent régulièrement ; puis sont venus les joints en porte-à-faux, qui constituaient une difficulté.

M. le Rapporteur a signalé encore des inconvénients du système des traverses comparativement au système des longrines. C'est là, en général, une question financière, car dans les pays où l'on préconise les longrines, le bois est presque toujours relativement cher. Chez nous, où on l'obtient à bon compte, nous croyons que les traverses sont beaucoup meilleures que les longrines dans tous les cas possibles. Je ne puis pas en exposer toutes les raisons ; je dois me borner à en indiquer quelques-unes.

Dans les contrées que traverse la Südbahn, par exemple, on dispose d'excellents bois, notamment le mélèze, qui est même supérieur au chêne. Quand on pose une voie avec le rail Vignoles, les ouvriers y enfoncent les crampons directement à coups de marteau sans forage préalable. C'est un procédé très économique et le bois ne se fend jamais. Il en serait bien autrement si l'on employait le chêne : il se fendrait immédiatement. Il y a donc là une question locale. L'emploi des longrines de diverses essences de bois a toujours donné lieu à des détériorations plus nombreuses surtout dans les courbes et, dans ces conditions, nos ingénieurs sont d'accord pour préférer les traverses. On invoque encore, contre le système des traverses et du platelage en bois, la possibilité des incendies produits par les charbons embrasés qui tombent de la locomotive sur les ponts. Nous avons paré à ce danger en plaçant près des grands ponts des réservoirs d'eau en permanence.

Nous n'avons eu, du reste, qu'un cas d'incendie qui s'est produit dans ces conditions. Cet accident remonte à une vingtaine d'années ; et le plancher qui commençait à s'embraser a été immédiatement éteint. Ce n'est donc pas là un argument contre l'emploi des traverses en bois dans la construction des ponts.

Il a été dit, enfin, que le système des traverses exigeait des longerons métal-

liques et on a signalé cette particularité comme un sérieux inconvénient. Cela n'est pas exact : chez nous, sur les ponts de portées courantes, nous posons les traverses immédiatement sur les maîtresses-poutres et, par conséquent, nous n'avons pas besoin de longerons métalliques.

Ce système est, de plus, très économique : les traverses prolongées au-dessus des maîtresses-poutres forment consoles pour supporter le platelage extérieur.

M. Randich. J'ai eu en vue le cas, peut-être le plus fréquent, où la voie est placée en dessous ou entre les maîtresses-poutres.

M. M. von Leber. Moi, je parle des ponts à voie en dessus.

M. Randich. C'est un cas spécial.

M. M. von Leber. Enfin, la dernière question est celle de la pose de la voie sans intermédiaire sur les ponts. En Autriche, nous considérons ce dispositif comme excessivement mauvais; nous ne l'admettons que quand il n'y a absolument pas moyen de faire autrement.

Nous estimons que l'interposition de bois entre le rail et le pont est chose excellente. Nous n'avons pas de voie posée directement sur le fer quand nous pouvons l'éviter. Je dois dire cependant, et ceci est conforme aux conclusions du rapport, qu'il y a en Allemagne et notamment en Saxe des ponts avec voies entièrement métalliques : il en est ainsi du pont de Risa, qui a des ouvertures de 100 mètres et dont les traverses métalliques sont faites en fer Zorès. Je ne suis cependant pas partisan de ce système et je préfère le bois.

M. Randich. Je n'ai pas dit le contraire dans mon rapport.

M. M. von Leber. J'avais compris que vous faisiez un parallèle entre les deux systèmes et que vous donniez la préférence à l'emploi exclusif du métal, ce que je considérerais comme une mauvaise solution.

M. Randich. Je me suis borné à analyser les différentes opinions que j'ai recueillies.

M. Waldmann (Espagne). Je tiens à dire quelques mots sur le danger d'incendie, qui vous a été signalé par M. le Rapporteur, quand on fait sur les ponts métalliques la pose de la voie sur traverses. Nous avons, au Nord de l'Espagne, un très grand nombre de ponts métalliques et sur presque tous la voie est posée sur traverses. Nous ne recouvrons pas ces traverses par du ballast, elles sont

donc exposées à l'air et aux influences d'un climat qui, en été, est très sec et très chaud. Le combustible que nous employons n'est pas toujours malheureusement de première qualité : souvent nos briquettes contiennent du schiste qui forme des scories sur la grille du foyer et obligent le chauffeur à nettoyer fréquemment le feu. Bien entendu, nos règlements défendent aux chauffeurs de nettoyer le feu au passage des ponts; malgré cela, ils le font quelquefois, soit par oubli du règlement, soit par nécessité; il en résulte la chute sur le pont et sur les traverses de scories et d'escarbilles enflammées. Le bois étant complètement desséché, comme je l'ai dit, par l'influence de la température, nous nous trouvons dans les meilleures conditions pour avoir des incendies, et pourtant nos traverses ne brûlent pas, c'est un fait d'expérience; nous avons bien par-ci par-là une traverse sur laquelle sont tombées des scories et qui est un peu carbonisée, mais la traverse n'est pas détruite pour cela et surtout, ce qu'il faut bien remarquer, le feu ne s'est pas communiqué aux traverses voisines. La traverse plus ou moins avariée est immédiatement remplacée par la brigade de la voie, ce n'est qu'un simple travail d'entretien, encore est-il bien rare. Je crois donc pouvoir conclure qu'avec des traverses, les chances d'incendie n'existent pas ou presque pas, peut-être moins qu'avec des longrines à cause des solutions de continuité.

M. Meyer (*Suisse*). A l'origine de la construction des chemins de fer, on a adopté les longrines pour la pose des voies sur les ponts.

Ces longrines constituaient des pièces exceptionnelles qu'on payait généralement plus cher que les traverses ordinaires, et dont le remplacement était assez difficile.

Nous avons remarqué aussi que la pose sur longrines présentait cet inconvénient qu'on rencontrait de grandes difficultés à maintenir l'écartement de la voie et l'inclinaison du rail. C'est ce qui nous a amenés à remplacer successivement les longrines par des traverses. En même temps, nous avons cherché à obtenir un tablier assez résistant pour empêcher les trains de dérailler. Nous avons alors placé des traverses normales comme supports de rails et rempli les intervalles avec des traverses mi-valeur sortant des renouvellements de voies. Nous nous en sommes généralement bien trouvés.

M. Randich. Ce sont donc des traverses de longueur ordinaire? Je tiens à le constater, car M. von Leber nous disait tout à l'heure qu'en Autriche on employait des traverses spéciales.

M. Meyer. Nous avons pu, par notre procédé, établir la voie aussi bien sur les ponts qu'en voie courante avec des traverses ordinaires, c'est-à-dire de dimensions normales ou courantes.

M. le Président. M. Fison, ancien administrateur, pourrait-il nous dire si l'on a employé le bois dans la construction du Forth Bridge?

M. Fison (*Grande-Bretagne*).

(*Traduction.*)

La voie fixe du pont du Forth est constituée par des rails en acier de la section dite « de pont », ayant 10 centimètres de hauteur, 21.5 centimètres de largeur à la base et pesant 59 kilogrammes par mètre. Des trous sont forés dans les ailes de la base à des intervalles de 60 centimètres, et les rails sont fixés au moyen de tire-fond sur des longrines en bois de teck de 30 centimètres de largeur et 15 centimètres de hauteur. Les rails et les longrines reposent sur une couche de bois créosoté enfermée dans les longerons, en forme d'augets, du tablier du pont. Pour le cas où le train viendrait à quitter les rails, les roues des véhicules seraient guidées par les côtés des longerons en augets, de telle sorte que le train ne pourrait entrer en collision avec le parapet du pont.

(*Texte original.*)

The permanent way of the Forth Bridge consists of steel rails of « bridge » section, 10 centimetres deep, 21.5 centimetres wide across the flange, and weighing 59 kilos per metre. Holes are drilled in the flanges, at intervals of 60 centimetres and the rails are fastened by screw bolts to longitudinal sleepers of teak wood 30 centimetres wide and 15 centimetres deep. The rails and sleepers are bedded on creosoted timber packed closely in the trough-shaped longitudinal girders of the floor of the bridge. In case the train should leave the rails, the wheels of the vehicles would be guided by the sides of the trough girders, so that the train could not come into collision with the parapet of the bridge.

M. Jules Michel (*France*). Je désirerais avoir quelques renseignements sur les inconvénients qui ont été relevés, dans la pratique, de la pose du rail directement sur les longerons en fer. Je n'ai pas encore une expérience assez longue pour les ponts de grandes dimensions. Mais je connais un certain nombre d'autres ponts, de 5 à 6 mètres de portée, où les rails ont été posés directement sur les poutres, parce qu'il n'y avait pas assez de hauteur disponible pour les mettre sur

des longrines en bois. Ces ponts remontent à 1865 ou 1866, c'est-à-dire à près de vingt-cinq ans; ils sont encore en parfait état.

J'en conclus que les inconvénients signalés n'existent pas pour les ponts de faible portée. Ces inconvénients existent-ils pour les ponts de 15 à 20 mètres? Je serais curieux de le savoir.

Ce que je puis dire, c'est que, dans la Suisse occidentale, j'ai vu, à la sortie de la gare de Neuchâtel, un pont où les rails reposent directement sur les pièces du pont. Je ne crois pas non plus que cela ait offert aucun inconvénient.

Je désirerais savoir si, ailleurs, on a constaté, soit des ruptures de traverses, soit un desserrement des attaches.

M. Bricka (*France*). Dans un article sur les voies en Allemagne, qui a paru dans les *Annales des ponts et chaussées*, j'ai cité un grand nombre de ponts de certaines dimensions où les rails reposent directement sur les pièces mêmes des ponts.

M. M. von Leber. Je suis à même de fournir quelques renseignements sur le point qui vient d'être traité.

Nous avons, en Autriche, des ponts où les rails sont posés directement sur les longerons; nous avons même sur le Danube, près de Vienne, un pont construit vers 1869 où les rails sont posés avec leur patin à plat sur les longerons. Un directeur de construction, appartenant à l'Administration de la Compagnie des chemins de fer de l'État, M. de Ruppert, homme très distingué et ingénieur éminent, était alors d'avis que le meilleur système est celui qui consiste à répartir la pression sur toute la longueur.

On a construit ainsi en Autriche plusieurs ponts d'après ce système. Parmi les plus importants, je puis vous citer le viaduc de l'Iglawa près Eibenschütz, où l'on a constaté qu'il tombait fréquemment des rivets provenant de la voie; la gendarmerie a dressé procès-verbal de ce fait, en nous mentionnant une pluie de rivets sous le viaduc. En 1880, j'ai publié à ce sujet un rapport dans lequel j'ai fait remarquer qu'il y avait un moyen bien simple de parer à cet inconvénient: c'était d'interposer de petites traverses de bois entre les rails et les fers Zorès formant le platelage. Ce moyen a parfaitement réussi.

Nous avons aussi construit en Autriche un petit chemin de fer d'intérêt local où, dans un but d'économie, on a appliqué ce même système; mais là on a rivé les rails directement sur les maîtresses-poutres. Nous avons déconseillé l'emploi de ce système qu'on a cependant mis en œuvre: l'expérience nous a donné raison.

M. Kalff (*Pays-Bas*). Je me permets de faire observer que, du moment où l'on adopte la traverse métallique, s'il n'y a pas d'interposition dans la voie, on ne rencontre pas de difficulté.

Pour nos grands ponts, en Hollande, nous employons la traverse métallique, et cela sans difficulté aucune.

Le rapport fait remarquer que c'est une construction très coûteuse.

Il se peut que les frais de premier établissement soient plus élevés qu'avec d'autres systèmes; mais je fais remarquer que les frais d'entretien sont moins considérables; en sorte qu'il y a là une compensation qui doit faire accorder la préférence aux traverses métalliques.

M. le Président. Le bois est cher en Hollande.

M. Kalff. Oh! ce n'est pas pour cela. Nous avons autant de bois que d'autres pays; mais c'est une question de durée et d'entretien plus économique.

M. M. von Leber. Il ne faut cependant pas perdre de vue que le bois offre plus d'élasticité. Toutefois, on remarquera qu'avec l'emploi des traverses métalliques, on interpose une pièce élastique sinon dans sa substance, du moins dans sa qualité de pièce élastique pouvant fléchir; il n'est donc pas étonnant que les résultats observés soient favorables.

M. Brière (*France*). Je voudrais dire un mot sur la position de la question. Plusieurs des membres que nous avons entendus paraissent préoccupés du point de savoir s'il faut employer le bois dans la construction des ponts. Or, je me permets de rappeler que la question à discuter est celle-ci :

« Pour la pose de la voie sur les ponts métalliques *avec interposition de bois* (et remarquez que ces derniers mots sont même en italiques), doit-on donner la préférence au système de la pose sur longrines ou à celui de la pose sur traverses? »

Il n'y a donc à discuter que le cas où l'on emploie le bois.

M. le Président. Il faut lire un peu plus loin; au § 2 de la question III, on demande - quels sont, notamment au point de vue de la sécurité, les avantages et les inconvénients qui résultent de la non-interposition du bois? ».

M. Brière. En effet, la seconde partie de la question se trouve à l'autre côté de la page et j'avais négligé de la tourner. Mais il y a une autre question beaucoup plus intéressante : c'est le cas où, comme le disait M. von Leber, on ne met rien

du tout, où l'on emploie simplement des poutres et du ballast. C'est, pour ma part, ce que je préfère beaucoup. Cela coûte un peu cher comme dépense de premier établissement, et nous savons par expérience que, dans les Administrations de chemins de fer, le service de la construction et le service de la voie ne s'entendent pas toujours. Il est parfois difficile de se mettre d'accord, mais je crois que tout ingénieur chargé de l'entretien préférera toujours le système dans lequel la voie est posée sur ballast.

M. Bricka. Ce n'est pas toujours une question d'argent; c'est parfois aussi une question de durée des ouvrages.

M. Mantegazza (*Italie*). Les ponts entièrement métalliques recouverts d'une couche de ballast sont toujours préférables aux abords des grandes stations, où il y a des changements de voie; tandis qu'avec des maîtresses-poutres pour chaque voie, on éprouve de très grandes difficultés.

M. Randich. Et d'autre part cela atténue aussi beaucoup le bruit, ce qui n'est pas indifférent, surtout lorsque la voie traverse des rues.

M. Bruneel (*Belgique*). Je lis au § 9 du rapport : « Le système de pose sur traverses est peu compatible avec l'emploi des planchers en tôles striées, dont l'usage a été admis par plus d'une Administration de chemins de fer. Nous écartons tout d'abord, à cause de ses inconvénients évidents, le dispositif consistant à placer ce platelage métallique sur les traverses mêmes. »

Je ne saurais me rallier à cette conclusion.

A l'État belge, nous employions, il y a une dizaine d'années, les longrines. Pour différents motifs, que je crois inutile de développer et dont la plupart sont d'ailleurs exposés dans la note de M. le Rapporteur, nous avons adopté, depuis, la pose sur des traverses en bois, et nous établissons sur celles-ci un plancher métallique en tôles striées fixées au moyen de tire-fond sur les traverses, avec interposition de plaques en feutre goudronné, d'un centimètre d'épaisseur.

Nous sommes arrivés ainsi à des résultats extrêmement satisfaisants. Ce système est maintenant exclusivement employé; il offre cet avantage que l'interposition de plaques en feutre assure une insonorité presque absolue au passage des trains sur les ponts.

Les inconvénients que redoute M. le Rapporteur en ce qui concerne la surveillance et la visite des attaches et des traverses ne sont pas à craindre. Toutes les attaches du rail sur la traverse restent parfaitement dégagées et apparentes, et la

visite des traverses elles-mêmes est des plus faciles : il suffit d'enlever quelques tire-fond.

M. Randich. En Italie, où, comme je l'ai fait remarquer dans mon rapport, la pose de la voie sur longrines en bois dans les ponts métalliques est d'un usage presque général, nous avons adopté couramment les planchers en tôle striée, avec ossature complètement en fer. N'ayant aucun motif de nous départir de ce système, nous procédons même, sur le réseau Adriatique du moins, à la substitution de longrines aux traverses sur les ponts métalliques, et de planchers en fer aux planchers en bois, toutes les fois que l'occasion s'en présente.

M. Lommel (*Suisse*). Je confirme les indications que donnait tout à l'heure M. Meyer. A l'origine, nous avons sur les lignes du Jura-Berne-Lucerne des longrines presque partout, mais elles ont été successivement remplacées par des traverses, dans un but de simplification de construction et d'économie d'entretien. A l'heure actuelle, je crois qu'il ne reste plus guère de longrines que sur les petits ponts. Peut-être y a-t-il encore quelques exceptions aux abords de certaines villes. Mais tout le monde est maintenant d'accord sur l'utilité de remplacer les longrines par des traverses.

M. Mantegazza. En Italie, sur notre réseau de la Méditerranée, nous avons généralement les longrines; mais, vous le savez, messieurs, nous avons un réseau très hétérogène. Il a été commencé il y a plus de cinquante ans et développé ensuite par différentes petites Administrations qui se sont plus tard fusionnées.

C'est ainsi que nous avons encore une très grande quantité de types, véritable bric-à-brac (*Hilarité*), avec la voie généralement posée sur longrines.

Comme le disait très bien M. Brière, les constructeurs ne sont pas toujours d'accord avec les ingénieurs de l'entretien sur plusieurs détails très importants pour la voie.

M. le Président. Si c'était à recommencer, emploieriez-vous les traverses?

M. Mantegazza. Pour les ponts de grandes dimensions, la longrine ou la traverse me serait indifférente; ce qui importe, c'est qu'elle soit fixée au pont d'une manière convenable pour l'entretien.

M. Werchovsky (*Russie*). Il est un point sur lequel il importe de fixer l'attention quand on compare les ponts avec longrines aux ponts avec traverses. C'est que celles-ci paraissent beaucoup moins dangereuses en cas de déraillement.

Nous remarquons, par exemple, en Russie, que quand un wagon à marchandises déjà déraillé arrive sur un pont, et que ce pont est à longrines, il y a toujours accident et endommagement sérieux des différentes pièces du pont; tandis que si la voie est sur traverses, le wagon déraillé ne fait, en passant le pont, que sauter d'une traverse à l'autre. La raison en est que celles-ci ne sont espacées que de 24 pouces, tandis qu'avec les longrines, l'espace entre les poutres transversales varie de 4 à 8 pieds, ce qui excède de beaucoup le diamètre des roues.

Quant aux ponts construits sans interposition de bois, nous en avons un grand nombre sur la ligne transcaucasienne. Certains de ces ponts ont 500 et jusqu'à 600 mètres et plus. Les rails y sont posés sur des tôles ondulées, ce qui, au passage des trains, produit un grand bruit, fort incommode pour les voyageurs surtout pendant la nuit.

M. Randich. Le plus grand danger que la pose sur longrines présente en cas de dérailllements est précisément une des raisons qui nous ont fait adopter, au réseau Adriatique, des planchers entièrement en fer, capables de supporter le poids et de résister aux chocs des wagons déraillés.

— La discussion est close.

Séance du 18 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. RANDICH

M. le Président. La parole est à M. le Secrétaire, pour donner lecture du rapport résumant la discussion de la III^e question.

M. Perk. « La section disposait pour ses travaux du rapport de M. Randich, qui, pour la rédaction de son rapport, n'avait eu des données que de deux Compagnies.

« Les principales conditions qu'on doit exiger d'un bon système de pose et de fixation de la superstructure sur les ponts métalliques sont, selon lui, les suivantes :

« 1^o Stabilité égale au moins à celle de la superstructure dans la voie courante;

- “ 2° Maintien de l'invariabilité de l'alignement et de l'écartement de la voie,
“ tout en lui conservant l'élasticité nécessaire;
- “ 3° Facilité de surveillance et d'entretien. Les pièces interposées entre les
“ rails et les membrures du pont, ainsi que leurs attaches, doivent être visibles,
“ et celles d'entre elles qui seraient avariées doivent pouvoir être remplacées
“ promptement et facilement, tout en limitant autant que possible le déplacement
“ du platelage du plancher;
- “ 4° Modicité relative des frais de premier établissement et d'entretien;
- “ 5° Un bon système de pose doit pouvoir se prêter, sans causer de sujé-
“ tion, à l'élargissement et au dévers de la voie dans les alignements en
“ courbe. ”

“ M. Randich examine ensuite si la pose sur traverses, celle sur longrines et celle sans interposition de bois répondaient aux conditions mentionnées ci-dessus.

“ Dans les discussions, la 1^{re} section a eu des communications intéressantes au sujet de la situation :

- “ 1° En Autriche, où il n'y a pas d'uniformité et où l'expérience a fait apprécier la pose de la voie sur traverses;
- “ 2° En Espagne, où l'emploi du bois soit pour traverses, soit pour longrines sur les ponts n'a jamais donné lieu à des incendies causés par les escarbilles enflammées tombant du cendrier des locomotives;
- “ 3° En Suisse, où les longrines en bois seront remplacées par des traverses et où l'on place des traverses intermédiaires pour se garer des dangers d'un déraillement;
- “ 4° En Angleterre, où l'on a employé dans la construction du pont sur le Forth des longrines en bois, reposant sur une couche de bois créosoté enfermée dans les longerons, en forme d'augets, du tablier;
- “ 5° Dans les Pays-Bas, où l'on a employé, dans les nouveaux ponts, des traverses métalliques;
- “ 6° En Italie, où l'on emploie des longrines et où l'on se sert de planchers en tôle striée pour parer aux dangers d'un déraillement ;
- “ 7° En Russie, où l'on emploie généralement les traverses pour se prémunir contre les dangers d'un déraillement, et où, dans la Caucasic, les rails sont posés sans interposition de bois sur des tôles ondulées, ce qui cause un bruit très désagréable pour les voyageurs lors du passage des trains.

« De l'exposé de M. Randich et des discussions, la 1^{re} section a conclu ce qui suit :

« 1° Aucun des deux systèmes de pose avec interposition de bois, en usage, ne semble présenter des avantages ou des inconvénients de nature à recommander l'adoption exclusive de l'un des deux, et, par conséquent, l'abandon absolu de l'autre, et cela d'autant plus que l'on peut toujours, au moyen de dispositifs rationnels et de systèmes d'attaches suffisamment solides, assurer complètement la stabilité et l'invariabilité de la voie aussi bien dans les alignements que dans les courbes ;

« 2° Quant à la pose sans interposition de bois, telle qu'elle est le plus communément usitée, c'est-à-dire soit la pose directe du rail sur les longerons ou sur d'autres membrures du pont, soit la pose avec l'interposition de selles, de plaques ou de coussinets métalliques, il ne semble pas convenable d'en étendre l'emploi, hors des cas où ce système s'impose, soit par suite du peu de hauteur disponible, soit pour d'autres raisons impérieuses ;

« 3° Le système de pose sur traverses métalliques semble avoir donné de bons résultats jusqu'à présent. Toutefois, l'usage de ce système de pose est relativement trop récent, et encore trop peu étendu, pour qu'on puisse formuler une opinion précise à son égard. »

— Ce rapport est approuvé.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 23 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. le Président. M. Perk a la parole pour présenter, au nom de la 1^{re} section, un rapport sur la question III : *Pose de la voie sur les ponts métalliques.*

M. Perk donne lecture de ce rapport (voir ci-dessus le compte rendu de la séance du 18 septembre, après-midi, de la 1^{re} section), ainsi que des conclusions suivantes, proposées à l'assemblée :

- “ 1° Aucun des deux systèmes de pose avec interposition de bois, en usage,
- “ ne semble présenter des avantages ou des inconvénients de nature à recom-
- “ mander l'adoption exclusive de l'un des deux et, par conséquent, l'abandon
- “ absolu de l'autre, et cela d'autant plus que l'on peut toujours, au moyen de
- “ dispositifs rationnels et de systèmes d'attache suffisamment solides, assurer
- “ complètement la stabilité et l'invariabilité de la voie, aussi bien dans les aligne-
- “ ments que dans les courbes;
- “ 2° Quant à la pose sans interposition de bois, telle qu'elle est le plus com-
- “ munément usitée, c'est-à-dire soit la pose directe du rail sur les longerons ou
- “ sur d'autres membrures du pont, soit la pose avec l'interposition de selles, de
- “ plaques ou de coussinets métalliques, il ne semble pas convenable d'en étendre
- “ l'emploi hors des cas où ce système s'impose, soit par suite du peu de hauteur
- “ disponible, soit pour d'autres raisons impérieuses;

“ 3° Le système de pose sur traverses métalliques semble avoir donné de bons résultats jusqu'à présent. Toutefois, l'usage de ce système de pose est relativement trop récent et encore trop peu étendu pour qu'on puisse formuler une opinion précise à son égard. ”

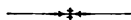
— Ces conclusions sont adoptées sans discussion.

QUESTION IV

MANŒUVRE A DISTANCE

DES

CHANGEMENTS DE VOIE



*Examen des différents systèmes de manœuvre à distance des appareils
de changements de voie.*

QUESTION IV

TABLE DES MATIÈRES

| | <i>Pages.</i> |
|---|---------------|
| Exposé par M. SABOURET | IV — 3 |
| Discussion en section | IV — 19 |
| — en séance plénière et conclusions | IV — 39 |

EXPOSÉ

Par SABOURET

INGÉNIEUR DU SERVICE CENTRAL DE LA VOIE AU CHEMIN DE FER DE PARIS A ORLÉANS

AVANT-PROPOS.

Renseignements envoyés par les Compagnies. — Nous avons reçu des renseignements de 28 Compagnies, représentant ensemble 67,000 kilomètres de chemins de fer.

8 Compagnies, représentant 11,000 kilomètres, ont déclaré ne pas employer d'appareils pour manœuvrer les aiguilles à distance.

3, représentant 8,500 kilomètres, emploient uniquement les appareils Saxby.

Les 17 autres, représentant 47,500 kilomètres, ont envoyé des rapports plus ou moins détaillés sur les systèmes très variés dont elles font usage.

Classification des différents systèmes. — Rappelons, en commençant, que nous n'avons à traiter que la manœuvre à distance des aiguilles, sans nous occuper des enclenchements avec les signaux.

On est conduit à manœuvrer les aiguilles à distance, dans trois cas bien distincts :

1° Dans une grande gare, à une bifurcation ou un poste de mouvement, on concentre en un point les leviers de manœuvre des aiguilles et des signaux, pour les enclencher mutuellement. La manœuvre à distance des aiguilles n'a alors d'autre but que la *sécurité*;

2° Dans une station ordinaire sur voie unique, on met à la disposition du chef de gare, à côté du bâtiment, des leviers permettant de manœuvrer les aiguilles de la voie de croisement. Comme il s'agit de manœuvres simples, ces leviers ne sont pas nécessairement enclenchés avec ceux des signaux. On cherche surtout à éviter de longs déplacements, qui imposent souvent la présence d'un agent supplémentaire. Le but poursuivi est principalement une *économie de personnel* et accessoirement une *augmentation de sécurité*;

3° Enfin, on concentre sur un point les leviers des aiguilles d'un faisceau de triage, ou de voies secondaires, placées en dehors des postes d'enclenchement, dans le seul but de réduire le nombre des aiguilleurs.

On ne peut pas cependant classer les appareils employés suivant l'usage que l'on en fait : certains d'entre eux, comme les appareils Asser, Schnabel et Henning, Siemens et Halske, sont utilisés dans les trois cas que nous venons de distinguer.

Une classification d'après la nature des transmissions n'est pas, non plus, parfaitement rationnelle, puisque la plupart des appareils actionnés par tringles rigides peuvent l'être par fils, et réciproquement.

Nous l'adoptons cependant, à défaut d'une autre meilleure. Elle nous donne cinq catégories :

Transmissions par tringles rigides ;

- funiculaires ;
- hydrauliques ;
- pneumatiques ;
- électriques.

Nous n'avons reçu aucun renseignement sur les transmissions pneumatiques.

Le Nord français a essayé plusieurs combinaisons très ingénieuses pour manœuvrer les aiguilles par un courant électrique agissant directement. Mais il ne s'agit encore que d'essais, auxquels manque la sanction indispensable d'une

longue pratique. Pour ces essais, comme pour les transmissions pneumatiques appliquées aux États-Unis, nous renvoyons à la note publiée récemment par M. Cossmann dans la *Revue générale des chemins de fer* (avril 1889).

Pour éviter toute confusion, nous croyons utile d'employer les expressions suivantes :

L'appareil placé à l'origine de la transmission, levier, poulie, robinet, etc., que l'aiguilleur manie directement, sera appelé *manipulateur*;

L'appareil placé à l'extrémité de la transmission, qui reçoit le mouvement et l'utilise pour déplacer les aiguilles, s'appellera *récepteur*;

Le récepteur sera dit *simple*, s'il déplace les aiguilles sans les caler ou les verrouiller; il s'appellera *verrou-aiguille* ou *cale-aiguille*, s'il opère le verrouillage ou le calage des aiguilles, en même temps que leur déplacement.

Nous distinguons le *verrouillage* du *calage* : le verrouillage est obtenu par l'introduction d'un verrou entre deux mâchoires fixes, comme dans le verrou Saxby, et le calage, par la pression sur un axe de rotation, comme dans l'appareil Asser.

Enfin, nous dirons qu'un récepteur est *talonnable*, s'il est disposé de telle façon qu'une prise anormale en talon des aiguilles ne produise aucune rupture dans le récepteur ou la transmission.

Nous nous excusons d'employer ces expressions quelque peu barbares en raison de la clarté qu'elles donneront à notre exposé.

Après avoir énuméré les appareils de manœuvre proprement dits, nous donnerons quelques renseignements sur les dispositifs accessoires qui les accompagnent fréquemment : pédales de sûreté, contrôleurs de position et protection des appareils non talonnables. Nous terminerons par quelques considérations sur le choix à faire entre les divers appareils.

I. — Transmissions par tringles rigides.

Les transmissions par tringles rigides paraissent avoir été les premières employées. Elles le sont encore presque exclusivement en Angleterre, en France, à l'État belge et sur plusieurs réseaux italiens et espagnols. On les emploie aussi en Autriche et en Suisse, mais concurremment avec les transmissions funiculaires, qui leur paraissent préférées aujourd'hui.

Manipulateurs.

Le manipulateur est toujours un levier simple. Les manipulateurs employés dans les divers systèmes ne diffèrent réellement les uns des autres que par la disposition des organes d'enclenchement, dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

La poignée est ordinairement placée en prolongement du levier et quelquefois normalement au plan du levier.

Transmissions.

La transmission ordinaire est la transmission Saxby, faite de tubes en fer creux de 30 à 40 millimètres de diamètre, guidés par des galets espacés de 2 à 3 mètres.

Le galet le plus employé tourne autour d'un axe fixe. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et la Compagnie du Gothard font usage de galets roulants. La maison Max Jüdel, de Brunswick, construit des boîtes dans lesquelles la tringle porte sur deux sphères guidées, qui roulent quand la tringle se déplace. Ces galets roulants doivent certainement diminuer la résistance de la transmission; on ne nous a pas fait connaître si cet avantage se maintenait après un usage d'une certaine durée.

La Compagnie du London and North-Western emploie des tringles ayant la forme d'un Γ dont les ailes embrassent les galets directeurs (*Revue générale*, décembre 1885, et note de M. THOMPSON, *On Railway signalling*, publiée par l'Association des ingénieurs civils de Londres, en 1885).

Quand les appareils extrêmes, manipulateurs et récepteurs, n'ont de jeu, ni l'un ni l'autre, dans leurs positions de repos, ce qui est le cas ordinaire avec les enclenchements, il est indispensable d'intercaler dans la transmission des compensateurs de dilatation. Les compensateurs, balanciers horizontaux ou verticaux, se rattachent tous aux types connus de la maison Saxby.

Pour abriter les transmissions souterraines, on emploie des caniveaux en bois en Angleterre et en France, et des caniveaux en fer Zorès sur quelques lignes suisses.

Les prix de revient des transmissions rigides qui nous ont été donnés sont trop discordants pour que nous puissions en tirer une indication de quelque valeur. Plusieurs Compagnies cependant citent le prix moyen de 10 francs par mètre, en comprenant tous les accessoires et la pose.

*Récepteurs.**A. Récepteur simple.*

Le récepteur simple, qui est encore le plus employé, consiste en une équerre à deux branches.

Si l'aiguille manœuvrée par un récepteur simple doit être verrouillée, on se sert presque exclusivement du verrou Saxby, actionné par une transmission indépendante.

B. Verrous-aiguilles.

Appareil Dujour. — Cet appareil ⁽¹⁾ consiste essentiellement en un balancier qui tourne successivement autour de deux axes. Dans la première période de la manœuvre, le balancier prend son point d'appui sur les lames d'aiguilles, qui sont maintenues par le verrou, et son mouvement est employé à faire sortir le verrou de sa gâche. Dans la deuxième période, c'est le verrou arrivé à l'extrémité de sa course qui sert d'appui au balancier, lequel tourne alors autour d'un nouvel axe pour déplacer les lames d'aiguille. La troisième période reproduit la première avec un mouvement inverse.

M. Dujour a récemment perfectionné son appareil, en y ajoutant une came, pour rendre la manœuvre plus douce.

Cet appareil est placé à l'extérieur de la voie. La maison Saxby l'a légèrement modifié pour le placer à l'intérieur.

Appareil Saxby. — La maison Saxby vient de construire un nouveau verrou-aiguille, très robuste et très simple, qui figure à l'Exposition universelle de Paris. Le verrou, actionné par la transmission, se déplace suivant l'axe de la voie. Il porte une saillie qui agit comme une dent de crémaillère sur un engrenage réduit à deux dents. Cet engrenage élémentaire, entraîné par la dent du verrou, produit le déplacement des aiguilles. En deçà et au delà de la position d'entraînement de l'engrenage, le verrou, qui peut se mouvoir librement, réalise le verrouillage de la tringle de connexion.

Appareil Poulet. — Dans les appareils précédents, le déplacement des aiguilles est obtenu par des mouvements de leviers oscillants. Avec l'appareil de M. Poulet, employé par le Nord français ⁽²⁾, le déplacement des aiguilles se fait

⁽¹⁾ Voir l'article de M. Cossmann dans la *Revue générale des chemins de fer* de mars 1881

⁽²⁾ Ibid. de septembre 1888.

par glissement sur un plan incliné. Le verrou, coudé dans son milieu, et guidé à ses extrémités, se déplace perpendiculairement à la tringle de connexion, en traversant une échancrure pratiquée dans cette tringle. Les deux parties extrêmes du verrou fonctionnent comme un verrou ordinaire, et la partie coudée intermédiaire agit comme un coin pour déplacer les aiguilles.

Appareil Schnabel et Hanning. — Cet appareil, construit par la maison Schnabel et Hanning, de Bruxhal, se place en dehors de la voie ⁽¹⁾.

La tringle de transmission est attelée à une barre plate, qui porte, entre les deux mâchoires qui la guident, une échancrure en arc de cercle. En se déplaçant, l'échancrure fait osciller un balancier, qui s'appuie sur elle au moyen de deux galets, et l'oscillation du balancier est employée à déplacer les aiguilles. Le verrouillage est produit par la résistance transversale de la barre échancrée, qui s'oppose à toute oscillation du balancier, quand elle n'est pas déplacée elle-même.

C. Cale-aiguille.

Appareil Büssing. — L'appareil Büssing, construit par la maison Max Jüdel, de Brunswick, est assez répandu en Suisse et en Autriche. Il a été décrit dans plusieurs publications de la maison Jüdel.

Il se place à l'extérieur de la voie. Le mouvement de la tringle fait osciller un balancier horizontal, dont l'extrémité libre entraîne une came en forme de mâchoire. La rotation de la came déplace les aiguilles. Dans les deux positions extrêmes, une des mâchoires de la came se trouve normale au balancier et cale ainsi l'aiguille contre l'axe du balancier.

Appareil Servetaz et Bianchi. — Cet appareil ⁽²⁾, qui figure à l'Exposition universelle de Paris, n'a été employé jusqu'ici que mû par l'eau comprimée. Nous le décrivons cependant à cette place, parce qu'il peut être actionné par tringles rigides aussi bien que les précédents.

Comme le verrou-aiguille Dujour, il utilise les mouvements successifs d'un balancier autour de deux axes de rotation. Il diffère du verrou Dujour par le système de calage des aiguilles. Le calage est obtenu par deux blocs, montés aux extrémités d'un axe perpendiculaire à la voie. Au commencement du mouvement, cet axe tourne en faisant glisser le bloc qui serrait l'aiguille contre son

⁽¹⁾ Voir l'article de M. Cossmann dans la *Revue générale des chemins de fer* de mars 1881.

⁽²⁾ Ibid. d'avril 1889.

sommier. Dès que le décalage est opéré, une saillie du bloc vient buter sous l'aiguille et empêche, par suite, la rotation de l'axe qui le porte. Cette résistance fait changer le centre de rotation du balancier, dont le mouvement est alors utilisé à déplacer les aiguilles. Ce déplacement achevé, le mouvement de l'axe de calage reprend, le premier bloc se glisse entre la lame d'aiguille et le rail, et le second bloc serre la seconde lame contre son sommier.

Came du Midi français.— La cale-aiguille du Midi français qui figure à l'Exposition n'est qu'une variante de l'excentrique Asser, que nous trouverons plus loin, parmi les appareils actionnés par fils. L'excentrique Asser décrit une révolution presque complète. La Compagnie du Midi a simplement modifié le tracé de la came, de façon : 1° à pouvoir la manœuvrer par une tringle et 2° à augmenter l'amplitude relative des périodes de calage et de décalage.

D. Cales-aiguilles talonnables.

Aucun des appareils précédents n'est talonnable. Nous allons en décrire trois qui le sont, et dont la construction utilise le même principe. Les deux lames d'aiguille ne sont plus reliées entre elles par des tringles de connexion de longueur invariable; elles le sont seulement par l'intermédiaire du récepteur qui les déplace *successivement*. L'aiguille appliquée contre le rail est seule calée, de telle sorte qu'un train qui se présente anormalement en talon peut actionner l'appareil en poussant la seconde lame, non calée. Ce mouvement entraînerait la rupture de la transmission si le manipulateur ne pouvait pas être renversé. Pour permettre ce renversement, on taille en plan incliné l'encoche qui arrête la manette d'enclenchement.

On peut douter de la résistance que cet ensemble de pièces articulées présenterait au choc produit par le passage d'un train rapide. Mais nous devons dire que ces trois récepteurs sont le plus souvent actionnés par des transmissions funiculaires, dont l'élasticité se prête parfaitement à un allongement anormal et brusque.

Le principe même des trois appareils, l'indépendance relative des deux lames, paraît soulever une objection plus sérieuse. La lame qui reçoit le choc du train n'est soutenue qu'à ses deux extrémités. Beaucoup d'ingénieurs, nous le croyons, hésiteraient à abandonner, sur une ligne parcourue par des trains rapides, la résistance que donnent les tringles de connexion, qui font de l'ensemble des deux aiguilles un châssis très stable.

Passons à la description sommaire des trois appareils.

Appareil Schnabel et Hanning. — Cet appareil, qui paraît être le plus répandu en Suisse, se place à l'intérieur de la voie. Un balancier en forme de losange porte une articulation à chacun de ses angles. Les extrémités du petit axe sont articulées, l'une à un pivot fixe, l'autre à la tringle de transmission; les extrémités du grand axe le sont à deux bielles, dont chacune est attachée à une des lames d'aiguille. Les articulations des bielles avec le balancier sont à trous ovales, de façon que, l'aiguille étant à bout de course, le balancier puisse continuer son mouvement et engager la bielle le long d'une glissière qui la cale.

Appareils Max Jüdel. — Les deux autres appareils sont construits par la maison Max Jüdel, citée plus haut.

Le premier n'est qu'une variante de l'appareil Büssing, déjà décrit. La came unique, en forme de mâchoire symétrique, de l'appareil Büssing est remplacée par deux cames montées sur le même axe et reliées séparément à une des lames d'aiguille. La mâchoire de ces deux cames n'est plus symétrique : elle est tracée de façon que les cames puissent agir successivement. Ce récepteur se place indifféremment à l'intérieur ou à l'extérieur de la voie.

L'autre appareil ne se place qu'à l'intérieur de la voie. Les bielles attachées aux aiguilles sont reliées entre elles par trois balanciers articulés les uns à la suite des autres. La tringle de manœuvre est fixée au centre du balancier intermédiaire. Les axes d'articulation des bielles avec les balanciers sont guidés par une rainure rectangulaire, élargie à ses deux bouts, pratiquée dans une plaque de tôle fixe. Le mouvement imprimé par la transmission déplace ainsi les articulations guidées jusqu'à ce que l'une d'elles vienne buter contre l'extrémité de la rainure, et à ce moment l'aiguille est déplacée. Le mouvement du balancier, en se continuant, fait tourner la tête de l'articulation, qui est en forme de clef, et l'engage dans l'élargissement de la rainure en calant l'aiguille.

Autres appareils. — La Compagnie du Great Eastern signale l'essai sur son réseau de deux types de verrou-aiguille qui lui donneraient satisfaction : l'un a été imaginé par M. Wilsonn, ingénieur en chef de la Compagnie; l'autre est construit par la maison Mackenzie et Holland. Nous n'avons pas de renseignements suffisants pour décrire ces appareils.

II. — Transmissions funiculaires.

Les transmissions funiculaires, très répandues en Suisse, en Autriche et en Hollande, ont reçu, dans ces dernières années, d'assez nombreuses applications en France.

Manipulateur.

Le manipulateur est, ou un levier ordinaire, ou un levier à poulie. Le Nord français et la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée se servent d'un levier Saxby, dont ils amplifient le mouvement par l'intermédiaire d'un balancier.

La Compagnie d'Orléans a employé un levier à poulie et contrepoids, qui fonctionne comme compensateur du fil tendu dans ses deux positions d'équilibre. Ce levier n'est pas enclenché.

Transmission.

La transmission est toujours établie avec deux fils. Le fil est généralement en acier à la fois très résistant et très élastique; son diamètre varie de 3^{mm}5 à 6 millimètres.

Le diamètre des poulies est très variable; on tend à le prendre plus fort dans les pays où l'on fait grand usage des transmissions funiculaires. La poulie dite « universelle » paraît être la plus employée.

Pour les traversées souterraines, on place les fils dans des caisses en bois, des dalots en poterie ou ciment, des tubes en fer ou en fonte.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée établit systématiquement ses transmissions au-dessus du sol, en les supportant par des poteaux ou de vieux rails à la traversée des voies et des chemins.

Les avis sont très partagés sur l'utilité des compensateurs de dilatation. En Hollande, sur le réseau de l'État français, à la Compagnie du Nord, on admet que les fils en acier, à coefficient d'élasticité élevé, posés avec une tension convenable, peuvent fonctionner en toute saison d'une manière satisfaisante, sans aucun réglage.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, le Grand Central Belge, quelques Compagnies suisses et autrichiennes croient nécessaire de régler la tension des fils par un compensateur. Le compensateur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et le compensateur Poulet ⁽¹⁾ présentent à peu près les mêmes disposi-

(1) Voir l'article de M. Leluan dans la *Revue générale des chemins de fer* d'octobre 1888.

tions : à l'extrémité de la transmission, le double fil est fixé soit à un balancier, soit à une poulie dont l'axe est mobile ; un contrepoids agit sur cet axe de façon à tendre également les deux fils. Dans le compensateur du Grand Central Belge, qu'on peut placer sur un point intermédiaire de la transmission, le contrepoids agit sur les axes de deux poulies montées aux deux extrémités d'un balancier.

Le prix de revient d'une transmission double aérienne est assez variable, mais toujours peu élevé : il ne dépasse guère 60 centimes par mètre.

Récepteurs.

Tous les récepteurs combinés pour la manœuvre par tringles peuvent être actionnés par des fils.

Récepteur simple. Disposition de la Compagnie d'Orléans. — Pour la manœuvre à distance des aiguilles de dédoublement de la voie principale, dans une station sur voie unique, la Compagnie d'Orléans emploie comme récepteur une simple équerre à trois branches. L'aiguille ainsi manœuvrée est verrouillée dans ses deux dispositions par un verrou Saxby ordinaire, actionné par une transmission spéciale. Puisqu'il en coûte très peu d'ajouter une transmission funiculaire à une qui existe déjà, il a paru logique d'accepter une double transmission qui permet d'employer un récepteur et un verrou de types courants, aussi simples que possible.

Récepteurs complexes. — En outre des récepteurs des types verrou-aiguille ou cale-aiguille, déjà décrits, nous avons à signaler trois récepteurs spéciaux pour transmissions funiculaires.

Appareil Siemens et Halske. — Cet appareil est très employé en Autriche ⁽¹⁾. Il se compose d'une poulie horizontale, actionnée par les fils, qui déplace les aiguilles au moyen d'une bielle dont l'articulation, sur la poulie, est à trou ovale. Grâce à cette disposition, quand le déplacement des aiguilles est complet, la poulie peut continuer son mouvement, qui est utilisé pour le calage de la bielle. Cet appareil n'est pas talonnable.

Les inventeurs, pour le rendre talonnable, y ont ajouté un dispositif dont la valeur nous paraît discutable. L'appareil tout entier est posé sur un chemin de glissement et se trouve pressé contre le changement par un contrepoids. En

(1) Voir la *Revue générale des chemins de fer* de janvier 1886.

cas de prise en talon anormale, tout l'appareil se déplace en soulevant le contrepoids, qui le ramène à sa première position quand le train est passé. L'aiguille n'est donc réellement maintenue que par le contrepoids et ne peut pas être considérée comme réellement calée.

Appareil Asser. — L'appareil Asser se compose simplement d'une excentrique solidaire d'une poulie actionnée par les fils. En décrivant un tour presque complet, l'excentrique fait avancer ou reculer la tringle du changement, qui glisse entre deux guides. Aux deux extrémités de la course, l'excentrique est normale à la tringle, contre laquelle elle glisse, en la calant. Comme dans la plupart des verrous-aiguilles ou cales-aiguilles, les mouvements des périodes de calage et de décalage, qui sont sans action sur les aiguilles et dont l'amplitude n'est pas limitée, peuvent être utilisés pour la compensation des fils et pour la manœuvre d'un signal optique qui montre que l'aiguille est faite et calée.

Cet appareil, adopté par l'État hollandais, a été employé en France sur voies principales par le réseau d'État et sur voies de triage par le réseau du Nord.

Appareil de l'État français. — Le réseau de l'État français a modifié et perfectionné l'appareil Asser ⁽¹⁾ spécialement en vue du service des stations sur voie unique. Quand l'aiguille est calée, le mouvement de l'excentrique est utilisé pour actionner un verrou Saxby ordinaire. L'appareil est également pourvu d'une manivelle avec embrayage qui permet de manœuvrer l'aiguille sur place. Un jeu de serrures Annett placé au récepteur et au manipulateur autorise à volonté une seule des deux manœuvres, à distance ou sur place.

Autres appareils. — On nous signale en Suisse et en Autriche l'emploi de divers autres appareils, sur lesquels nous manquons de renseignements : appareils Rothmuller, Vogel, Stesan de Götz et Krugner. Le Grand Central Belge a installé à l'Exposition un récepteur cale-aiguille, dont la disposition paraît satisfaisante.

Nous croyons utile de signaler en dernier lieu et sans aucun détail les verrous simples manœuvrés par fils, qu'on emploie ordinairement avec des aiguilles manœuvrées sur place : verrous Rothmuller, Saxby et Baudu. Ce dernier est employé dans un très grand nombre de stations en voie unique, sur le réseau d'Orléans.

(1) Voir l'article de M. Colin dans la *Revue générale des chemins de fer* de mai 1889.

III. — Transmissions hydrauliques.

Après des essais non suivis d'applications tentés sur divers réseaux, MM. Servettaz et Bianchi (Compagnie italienne de la Méditerranée) ont réussi, dans ces dernières années, à constituer un appareil très complet, très perfectionné, pour la manœuvre à distance et l'enclenchement des aiguilles et des signaux au moyen de l'eau comprimée. Ces inventeurs ont déjà installé ou installent en ce moment un assez grand nombre de postes de leur système sur le réseau de la Méditerranée. Ils viennent d'en terminer un à Bourges, sur le réseau de la Compagnie d'Orléans, et en montent un autre à Nice. Un appareil de cinq leviers est monté à l'Exposition. Rappelons qu'une description complète de ce nouveau système a été donnée par M. Cossmann, dans la *Revue générale* (avril 1889).

Le manipulateur se compose non seulement d'un robinet, mais encore d'une pompe destinée à préparer d'avance une provision d'eau comprimée à 50 atmosphères, par l'intermédiaire d'un accumulateur. En hiver, l'eau est mélangée de glycérine, pour éviter la congélation.

Les tubes de transmission sont en fer, de 16 millimètres de diamètre extérieur et de 6 millimètres de diamètre intérieur.

Le récepteur est un piston différentiel, mis en communication avec le manipulateur par deux tubes. Le tube qui débouche sur le petit bout du piston est en communication constante avec l'eau comprimée de l'accumulateur. Le second tube, qui débouche du côté du gros bout du piston, aboutit au robinet que manie l'aiguilleur. Suivant que ce robinet met en communication le second tube avec l'accumulateur ou avec une bêche d'évacuation sans pression, le piston se déplace dans un sens ou dans l'autre. Le mouvement du piston est employé à manœuvrer le récepteur cale-aiguille du système des inventeurs, que nous avons décrit plus haut. Si l'aiguille ne doit pas être verrouillée, le piston est attelé directement sur le col de cygne, et alors l'aiguille est talonnable; la prise anormale en talon n'a d'autre effet que de soulever légèrement le poids de l'accumulateur.

IV. — Pédales de sûreté.

Les pédales de sûreté sont placées en avant du changement pour en interdire la manœuvre pendant le passage des trains. Elles sont de deux types. Le type ordinaire est celui de la pédale Saxby, trop connu pour être décrit de nouveau. Il existe un assez grand nombre de variétés de ce type, parmi

lesquelles nous signalons celles de l'Elisabeth-Bahn, de l'État autrichien, du Midi français et de MM. Servettaz et Bianchi. On peut voir ces deux dernières pédales à l'Exposition.

Le second type de pédale, beaucoup moins employé, est indépendant de la manœuvre de l'aiguille. Il se compose d'une saillie à ressort qui s'enfonce sous la pression des roues, en calant momentanément le levier de manœuvre (État autrichien). Sur le Gothard, on emploie une pédale pneumatique de ce type dont le fonctionnement n'est pas parfait.

V. — Appareils de contrôle.

En Angleterre et en France, on admet généralement que la manœuvre du verrou par une tringle rigide, indépendante de celle de l'aiguille, constitue un contrôle suffisant.

Avec les transmissions funiculaires, qui sont élastiques, un contrôle spécial est à peu près indispensable.

Nous avons déjà signalé l'emploi de signaux optiques manœuvrés par le verrou ou la cale et qui montrent que l'aiguille est non seulement faite, mais calée. Suivant les cas, ces signaux parlent à l'agent de la gare seul ou bien à cet agent et à ceux des trains.

Ces signaux optiques contrôlent plutôt le fonctionnement du récepteur que la position de l'aiguille elle-même. Les contrôleurs électriques s'attellent ordinairement à l'aiguille même. C'est ainsi que fonctionnent le contrôleur à mercure du Nord français, le contrôleur à ressort de l'Ouest et le contrôleur à friction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. Ces trois contrôleurs actionnent une trembleuse, pendant toute la période d'entrebâillement de l'aiguille.

Il existe aussi des systèmes de contrôle indirects, par exemple ceux qui consistent à enclencher le récepteur ou les lames d'aiguille avec les signaux qui protègent cette aiguille. Sur le London and North-Western, on emploie un dispositif très simple, qui est disposé de telle façon que les signaux protégeant l'aiguille ne peuvent être ouverts que si les deux lames de l'aiguille sont bien, l'une et l'autre, à leur place.

VI. — Protection des aiguilles non talonnables.

Le plus souvent, les aiguilles non talonnables sont protégées par des signaux ordinaires enclenchés ou par un signal spécial indicateur de la position de l'aiguille ou du verrou.

Dans quelques cas, la prise anormale en talon est dénoncée par l'explosion d'un pétard.

Certaines Compagnies, pour préserver les récepteurs, attachent le col de cygne au récepteur par l'intermédiaire d'une goupille qui se rompt, ou d'un ressort qui fléchit. Ces deux solutions, comme celle de l'appareil Siemens et Halske, que nous avons critiquée, ont l'inconvénient d'affaiblir la résistance du verrouillage.

Enfin, il existe plusieurs dispositifs spéciaux assez compliqués (Max Jüdel, Schnabel et Hanning, Grand Central Belge), qui mettent automatiquement à l'arrêt les signaux de protection, en cas de rupture de l'appareil ou de sa transmission.

VII. — Disposition des postes d'aiguilleur.

Les leviers des aiguilles manœuvrées à distance sont ordinairement réunis à ceux des signaux et placés dans une cabine.

En Angleterre, la cabine est toujours élevée de plusieurs mètres au-dessus des voies. En France, elle l'est aussi pour les postes importants. Cette élévation de la cabine augmente la visibilité des abords. L'installation du poste au niveau du sol a cependant des avantages qui la font préférer pour des postes de moyenne importance : elle facilite la visite et l'entretien des appareils par l'aiguilleur et elle permet de confier à ce dernier la manœuvre d'aiguilles voisines, non reliées au poste.

VIII. — Distances de manœuvre.

En Angleterre, un règlement du Board of Trade limite à 165 mètres la distance de manœuvre des aiguilles prises en pointe. Bien qu'aucune limite ne soit prescrite pour les aiguilles en talon, la distance de manœuvre de ces aiguilles n'est jamais considérable. Le Great Eastern, qui signale les plus longues, ne dépasse pas 275 mètres.

En France, il existe des manœuvres par tringles atteignant 400 mètres.

Dans les pays où l'on emploie des transmissions funiculaires, on va beaucoup plus loin : en Autriche, on est allé jusqu'à 600 mètres. Cependant, les Compagnies qui ont installé ces transmissions exceptionnelles recommandent de les éviter autant que possible.

IX. — Choix à faire entre les divers systèmes.

Les Compagnies anglaises emploient systématiquement les tringles rigides, à l'exclusion des transmissions funiculaires.

En Autriche, en Hollande, en Suisse, on emploie les deux systèmes, mais on paraît donner la préférence aux transmissions funiculaires, même pour les aiguilles placées sur voies principales.

En France, jusqu'à ces dernières années, les transmissions rigides étaient seules employées. On accepte maintenant les transmissions funiculaires pour les aiguilles de triage ou les aiguilles en talon aux Compagnies du Nord et Paris-Lyon-Méditerranée, pour les aiguilles en pointe sur voies principales au réseau de l'État et à la Compagnie d'Orléans.

Il est assez facile d'expliquer ces divergences d'opinions.

En Angleterre, la voie unique est exceptionnelle, et les stations ordinaires en double voie ont toujours leurs aiguilles groupées au centre de la station. Cette double circonstance, jointe au règlement du Board of Trade, qui limite à 165 mètres la manœuvre des aiguilles en pointe, enlève tout avantage à l'emploi de transmissions funiculaires, qui sont moins simples que les transmissions rigides et ne sont pas plus économiques quand la distance ne dépasse pas 50 à 100 mètres.

En Suisse et en Autriche, au contraire, où la plupart des lignes sont à voie unique, il était utile de pouvoir manœuvrer les aiguilles de dédoublement dans les petites stations, à des distances de 300 à 400 mètres, pour lesquelles l'emploi de transmissions funiculaires s'imposait. Les Compagnies qui faisaient usage de ces transmissions les ont perfectionnées, se sont familiarisées avec elles et finalement les emploient aujourd'hui presque exclusivement.

En France, on a commencé l'application des manœuvres à distance dans les grandes gares et aux bifurcations; les distances à franchir étaient rarement considérables, et on a naturellement donné la préférence aux transmissions rigides, qui sont les plus simples et dont le bon fonctionnement n'est pas contesté. Mais quand on a voulu manœuvrer à distance les aiguilles extrêmes des stations en voie unique, ou les aiguilles des faisceaux de triage, on a dû recourir aux transmissions funiculaires, qui permettent seules d'exécuter économiquement ces installations.

Si on laisse de côté les préférences qu'engendre forcément l'usage prolongé

d'un système déterminé, on pourrait ainsi fixer la règle à suivre dans le choix des transmissions rigides ou funiculaires.

Pour des distances inférieures à 50 mètres, les transmissions rigides peuvent ne pas coûter plus que les transmissions funiculaires et elles ont l'avantage d'être plus simples que ces dernières.

Entre 50 mètres et 200 mètres, le choix entre les deux systèmes dépend uniquement des conditions d'espèce.

Au delà de 200 mètres, les transmissions funiculaires semblent s'imposer par l'économie de leur établissement.

Pour les récepteurs complets, verrou-aiguille ou cale aiguille, on peut opter entre un grand nombre d'appareils également satisfaisants.

Les Compagnies anglaises et plusieurs Compagnies françaises n'emploient avec des transmissions rigides que des récepteurs simples et des verrous manœuvrés par une transmission spéciale, attribuant à cette disposition un fonctionnement plus sûr.

Les transmissions hydrauliques sont trop récentes, et surtout leur prix de revient n'est pas encore suffisamment établi pour qu'on puisse les mettre en comparaison avec les deux autres systèmes. Il n'est pas impossible cependant qu'elles soient appelées à prendre un développement notable dans un avenir prochain.

Résumé et conclusion.

La manœuvre à distance des changements de voie est obtenue pratiquement au moyen de transmissions par tringles rigides, par fils d'acier et par tubes à eau comprimée.

Si l'on emploie les transmissions rigides ou funiculaires, on peut choisir entre un grand nombre de dispositions satisfaisantes.

Le choix entre les divers systèmes dépend le plus souvent des habitudes locales. On peut dire cependant que pour des distances inférieures à 50 mètres, les tringles rigides sont ordinairement préférées; qu'entre 50 et 200 mètres, le choix entre les deux systèmes est commandé par des considérations d'espèce et qu'au delà de 200 mètres, les transmissions funiculaires sont beaucoup moins coûteuses que les transmissions rigides.

Paris, le 19 juillet 1889.

DISCUSSION EN SECTION



(1^{re} SECTION)



Séance du 17 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. SABOURET

M. le Président. La parole est à M. Sabouret, ingénieur du service central de la voie au chemin de fer de Paris à Orléans, pour présenter à la section l'exposé de la question.

M. Sabouret. Les renseignements que j'ai pu recueillir ne sont pas aussi complets que je l'eusse désiré : ils émanent de vingt-huit Compagnies représentant ensemble 67,000 kilomètres de chemins de fer. Huit de ces Compagnies représentant 11,000 kilomètres ont déclaré ne pas employer d'appareils pour manœuvrer les aiguilles à distance; trois autres, dont le réseau est de 8,500 kilomètres, emploient uniquement les appareils Saxby.

Postérieurement à la rédaction de mon rapport, j'ai reçu des renseignements de deux Compagnies autrichiennes. Elles signalent l'emploi, sur leurs réseaux, d'appareils funiculaires. Ce sont des appareils comme ceux dont les autres Compagnies autrichiennes et de la Suisse avaient donné la description dans leurs notes. C'est pourquoi je n'ai pas cru devoir en faire l'objet d'un supplément à mon exposé.

Le but poursuivi dans la manœuvre des aiguilles à distance diffère selon les

situations : dans une grande gare, à une bifurcation ou à un poste de mouvement, on concentre en un point les leviers de manœuvre des aiguilles et des signaux pour les enclencher mutuellement; là, on n'a en vue que la sécurité; s'il s'agit d'une station ordinaire à voie unique, où les manœuvres sont simples et ne comportent pas nécessairement l'enclenchement des aiguilles et des signaux, les leviers peuvent être placés près du bâtiment du chef de gare, qui peut ainsi les faire agir sans se déplacer; on peut ainsi réaliser une économie de personnel et obtenir accessoirement un surcroît de sécurité; enfin, on concentre parfois sur un seul point les leviers des aiguilles d'un faisceau de triage ou de voies secondaires placées en dehors des postes d'enclenchement, dans le seul but de diminuer le nombre des aiguilleurs; ici, l'économie est l'objectif unique.

J'avais pensé, en rédigeant mon questionnaire, que la diversité des buts poursuivis aurait servi à éclairer les esprits. Les réponses reçues m'ont prouvé que je m'étais trompé.

En effet, les appareils de manœuvre sont assez indépendants du but qu'on poursuit; le même appareil peut être employé à actionner une aiguille aussi bien sur voie principale que sur voie secondaire.

Si, à défaut d'une classification plus rationnelle, nous adoptons la classification par nature de transmission, nous en trouvons cinq catégories : la transmission par tringles rigides, funiculaire, hydraulique, pneumatique et électrique.

J'écarte de suite les deux dernières, qui ne sont pas encore entrées dans le domaine de la pratique et au sujet desquelles je n'ai, du reste, reçu aucun renseignement.

Au sujet de la transmission pneumatique, il a paru dans la *Revue générale des chemins de fer* (avril 1889) un article de M. Cossmann. Je crois pouvoir y renvoyer les membres de la section, à défaut d'autres renseignements qui pourraient les intéresser. Les transmissions électriques ont été essayées par la Compagnie du Nord français; elles ont été également décrites dans la *Revue générale*.

Je passe aux autres modes de transmission et parlerai d'abord des transmissions en elles-mêmes, abstraction faite des appareils qui les actionnent.

Le système Saxby est encore le plus généralement employé et, jusqu'ici, on en a fort peu modifié le dispositif.

J'ai à signaler le dispositif de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, qui a renforcé ses tringles en écartant les galets. Il y en a un spécimen à l'Exposition.

L'idée de faire rouler les galets est très ingénieuse, et il est vraisemblable

qu'elle a donné de bons résultats. Je dois faire observer cependant qu'au Gothard on avait adopté un système analogue : les tringles se mouvaient sur deux sphères roulant elles-mêmes sur des guides. L'idée est à peu près la même; et néanmoins, au bout de quelques années, on a dû revenir aux galets ordinaires; les sphères, déformées par l'usure, glissaient au lieu de rouler.

La transmission funiculaire est faite uniformément avec des fils d'acier; la dimension de ces fils varie, mais elle est généralement voisine de 4 millimètres de diamètre.

L'acier est ordinairement très résistant et très élastique.

La difficulté consiste dans le règlement de la tension du fil. Sur ce point, les opinions sont très divisées. Aujourd'hui, l'État hollandais, l'État français, la Compagnie du Nord admettent que, pour la transmission par fils, on peut se passer de toute espèce de régulateur de tension, quand une fois on a posé les fils avec une tension convenable.

La plupart des autres Compagnies qui se servent de transmissions funiculaires croient nécessaire l'emploi d'un régulateur de tension : mais les unes le placent près de l'aiguille, les autres près du levier, d'autres enfin en un point intermédiaire.

Quelle sécurité relative présentent les deux natures de transmission? Il est encore, en quelque sorte, impossible de se prononcer sur ce point. En Angleterre on est d'avis que les transmissions rigides sont les seules acceptables; les transmissions funiculaires sont radicalement écartées. Au contraire, en Autriche et en Suisse, les transmissions funiculaires sont le plus généralement employées et on a toute confiance en elles. J'ai même entendu dire par des ingénieurs de certains réseaux français qu'ils avaient plus de confiance dans les transmissions funiculaires, au point de vue de la sécurité, que dans les transmissions par tringles rigides.

En Suisse, on donne la préférence aux transmissions funiculaires. Cependant au Gothard on emploie les transmissions rigides. Un représentant de la maison Schnabel, qui avait beaucoup prôné les transmissions funiculaires et en avait établi un grand nombre, a récemment, dans une conférence d'ingénieurs, exprimé une opinion différente, et s'est prononcé en faveur des transmissions rigides. Peut-être avait-il intérêt, en dernier lieu, à remplacer les premières par celles-ci. (*Rires.*)

En France, les transmissions rigides ont été exclusivement employées jusqu'en ces dernières années. Cela s'explique : on a commencé par manœuvrer l'aiguille

à distance par le poste d'enclenchement. La distance de transmission n'était pas grande alors et on a suivi l'exemple de l'Angleterre, où ce genre de transmission avait fait ses preuves. Mais quand, dans les stations à voie unique, on a voulu manœuvrer les aiguilles placées à la distance de 250 mètres et plus, il a fallu renoncer à la transmission rigide trop coûteuse et employer la transmission funiculaire.

J'arrive maintenant aux appareils qui utilisent le mouvement de déplacement de tringles et de fils pour manœuvrer les aiguilles.

Le mouvement obtenu par les fils ou les tringles est rectiligne alternatif, et peut être utilisé de diverses façons. Si l'on doit simplement déplacer l'aiguille sans la verrouiller, le problème est aussi simple que possible, puisque ce déplacement est également rectiligne alternatif.

Mais si l'on demande à l'appareil, non seulement de déplacer l'aiguille, mais encore de la fixer aux extrémités de sa course, en la verrouillant ou en la calant, l'opération devient plus complexe et elle comporte un nombre illimité de solutions. Aussi, les appareils employés pour manœuvrer et verrouiller l'aiguille sont en quelque sorte innombrables. J'en ai décrit sommairement un grand nombre dans mon exposé, et il en existe beaucoup d'autres qui ne m'ont pas été signalés. Je me garderai bien de recommencer ici cette description.

Il est facile de s'expliquer cette multiplicité de solutions. D'abord, dans certains cas, une solution spéciale s'impose par des exigences de l'exploitation : ainsi, le calage est admis par certains services comme satisfaisant au point de vue de la résistance, alors que d'autres le considèrent comme inférieur au verrouillage. Puis, il y a l'intérêt des constructeurs, qui cherchent à faire prévaloir des modèles spéciaux. Enfin, il y a aussi le désir qu'ont les services d'études de chaque Compagnie d'innover et de ne pas imiter servilement le voisin.

Je passe aux transmissions hydrauliques.

Ce mode de transmissions n'est pas une conception récente : l'idée d'employer l'eau sous pression, pour manœuvrer à distance les aiguilles, était trop naturelle pour qu'on ne l'ait pas essayée depuis longtemps.

Il faut reconnaître cependant que l'appareil de MM. Servettaz et Bianchi est le seul qui, jusqu'à présent, ait été employé en service courant. Il a été bien apprécié par les ingénieurs présents au Congrès à Milan. Les constructeurs ont installé un appareil de 5 leviers à l'Exposition.

La Compagnie italienne de la Méditerranée en a établi un assez grand nombre de postes sur son réseau. La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée en construit

en ce moment à Nice, et la Compagnie d'Orléans vient d'en mettre un de 22 leviers en service à Bourges.

Cet appareil est très ingénieux; mais il faut reconnaître qu'il est plutôt remarquable au point de vue des enclenchements qu'à celui de la manœuvre des aiguilles.

Je passerai rapidement sur les appareils accessoires qui accompagnent souvent les transmissions à distance, notamment la pédale de sûreté, qui a pour but d'empêcher la manœuvre de l'aiguille quand un train l'atteint. Il y en a de nombreux modèles, qui dérivent presque tous de la pédale Saxby. En Allemagne, on emploie aussi un type de pédale actionnée par toutes les roues des wagons, qui passent dessus en calant l'aiguille et la serrant contre le rail.

Les appareils de contrôle sont nombreux aussi et très variés. Ils sont surtout utiles avec les transmissions funiculaires, en raison de leur grande élasticité.

Ces appareils de contrôle sont de diverses sortes : le signal optique attaché à l'aiguille ou à son verrou; les signaux qui protègent l'aiguille et dont la transmission est enclenchée avec la tringle de manœuvre de l'aiguille ou de son verrou, ou avec des tringles attachées à chacune des deux lames d'aiguille. Cette dernière disposition est en usage sur le réseau du London and North-Western.

Ce contrôle se fait aussi au moyen d'avertisseurs électriques. Il en existe de trois types sur le réseau de l'Ouest français, du Nord et de Paris-Lyon-Méditerranée. Ce contrôle s'applique séparément aux deux aiguilles.

Enfin, il existe divers dispositifs pour parer aux inconvénients d'une prise anormale en talon.

La plupart n'ont d'autre but que de protéger l'appareil lui-même. C'est ainsi qu'on attache le col du cygne au récepteur au moyen d'une goupille qui se rompt ou d'un ressort qui fléchit; dans le premier cas, la rupture est dénoncée par l'éclatement d'un pétard. Ces systèmes ont l'inconvénient d'affaiblir la résistance du verrouillage.

En Allemagne et en Suisse, on a beaucoup employé dans ces dernières années des appareils qui sont talonnables par leur disposition même. Les quatre types qui nous ont été signalés (deux de Schnabel et Hanning et deux de Max Jüdel) mettent en jeu les mêmes principes : les tringles de connexion qui relient ordinairement les deux lames d'aiguille sont supprimées; l'appareil de manœuvre est relié à chacune des deux aiguilles par des tringles articulées et déplace les deux aiguilles *successivement*, en commençant par celle qui est écartée du rail. De cette façon, si un train prend une aiguille non faite en talon, le boudin rencontre

l'aiguille écartée du rail et la pousse contre le rail en déplaçant l'autre aiguille, exactement comme si on opérait avec la tringle de manœuvre.

Ce dispositif est séduisant. Cependant, on peut lui reprocher d'affaiblir la résistance des deux aiguilles. Isolées et reliées entre elles par une tringle simplement articulée, elles ne peuvent pas présenter la même résistance que quand elles sont réunies par les tringles de connexion.

Les distances de manœuvre varient beaucoup d'un pays à l'autre. En Angleterre, un règlement du Board of Trade limite à 165 mètres la distance de manœuvre des aiguilles prises en pointe. En France, il existe des manœuvres par tringles qui atteignent 400 mètres. Dans les pays à transmissions funiculaires, on va beaucoup plus loin : ainsi, en Autriche, où existe ce genre de transmissions, on va fréquemment jusqu'à 600 mètres.

Il serait difficile d'indiquer un choix à faire entre ces divers systèmes.

Il est incontestable que, quel que soit le système de transmission, il existe des appareils également satisfaisants.

La transmission funiculaire exige peut-être des appareils plus délicats, plus perfectionnés; mais il semble qu'avec les précautions voulues, on puisse avoir des appareils de manœuvre par fils offrant autant de sécurité que les appareils à transmission rigide.

Quant aux transmissions hydrauliques, elles sont encore trop récentes pour qu'on puisse les apprécier.

En résumé, voici la conclusion à laquelle je suis arrivé. J'ai cherché à la rendre aussi vague que possible :

« La manœuvre à distance des changements de voie est obtenue pratiquement
« au moyen de transmissions par tringles rigides, par fils d'acier et par tubes à
- eau comprimée. Si l'on emploie les transmissions rigides ou funiculaires, on peut
- choisir entre un grand nombre de dispositions satisfaisantes. Le choix entre
- les divers systèmes dépend, le plus souvent, des habitudes locales. On peut dire
« cependant que pour des distances inférieures à 50 mètres, les tringles rigides
- sont ordinairement préférées; qu'entre 50 et 200 mètres, le choix entre les
- deux systèmes est commandé par des considérations d'espèce, et qu'au delà
« de 200 mètres, les transmissions funiculaires sont beaucoup moins coûteuses
« que les transmissions rigides. »

— La discussion est ouverte.

M. de Sytenko (*Russie*). Avant d'arriver à Paris pour assister à cette session

du Congrès, j'ai traversé l'Allemagne et j'ai pu ainsi étudier la question qui est en ce moment soumise à la section.

En Allemagne, on attache une grande importance à la centralisation des aiguilles. Pendant ces dix dernières années, il a été dépensé 5,500,000 marks, rien que pour l'établissement d'appareils centraux de manœuvre à distance et de contrôle. Cette année même, on a encore dépensé 1,500,000 marks pour le même objet.

En Allemagne, on en est venu à reconnaître :

1° Que l'emploi de l'électricité pour les manœuvres à grande distance ne peut pas être considéré comme un moyen sûr, et que le système Siemens et Halske exige un sérieux perfectionnement;

2° Que la transmission funiculaire est de beaucoup préférable à la transmission par tringles rigides, système qui existe encore dans beaucoup de gares.

Mais ce qui est nouveau, c'est le principe de l'emploi de câbles qui a permis d'adopter le système funiculaire. Deux systèmes de transmission par câble étaient en présence et se disputaient la préférence.

Le premier consistait dans l'emploi de deux tronçons parallèles de câble métallique attachés aux bras des leviers, comme cela se pratique ordinairement en France, et le second dans l'emploi d'un câble sans fin embrassant les poulies du manipulateur et du récepteur.

Le défaut reproché aux transmissions funiculaires, c'est que l'influence de la température en rendait l'emploi peu sûr; ce défaut vient d'être annulé, le système ordinairement pratiqué étant remplacé par le système du câble *sans fin*, qui présente toute sécurité : on est toujours certain qu'à chaque mouvement du levier, le signal sera transmis et le récepteur fonctionnera.

Autrefois, comme vous avez pu le constater personnellement, il fallait employer des charges intermédiaires pour obtenir la compensation; aujourd'hui, on emploie à chaque extrémité de la ligne un compensateur qui consiste dans un levier avec un contrepoids. Sur l'autre bout de ce levier, attaché à un axe fixe, il y a une partie de segment dentelé. Quand le manipulateur ou le récepteur commence à agir, un arrêtoir qui dépend du récepteur entre dans la dent du segment et retient le levier exactement dans sa dernière position ainsi solidifiée, de manière que le mouvement par le câble se transmette directement au récipient, et que l'effort à faire soit très minime. La transmission funiculaire avec un câble sans fin est pratiquée très avantageusement en Allemagne pour des distances de plusieurs kilomètres, pour le fonctionnement des barrières aux passages à niveau.

On a reconnu aussi, en Allemagne, que le système des manipulateurs de Saxby et Farmer adopté en Angleterre et en Russie n'est pas le meilleur.

Sur les chemins de fer d'État, on emploie différents types de leviers pour manipulateurs, parmi lesquels il en est qui sont basés sur l'emploi du disque. L'effort à exercer, en employant un de ces disques, est bien faible; il suffit du moindre mouvement pour obtenir l'effet voulu. Par ce système, toutes les aiguilles sont verrouillées et calées en même temps.

Je regrette infiniment de n'avoir pas eu l'idée d'apporter ici tous les dessins que je me suis procurés; mais je promets d'en faire une petite description que j'aurai soin d'envoyer à notre Commission du Congrès pour être publiée dans le *Bulletin de la Commission internationale*.

Un des systèmes les plus simples est basé sur l'emploi des manipulateurs à disque. Quand ce disque tourne au moyen d'un petit levier et transmet ce mouvement au disque récepteur, c'est-à-dire à la poulie horizontale disposée entre les rails, cette poulie agit de manière que toutes les aiguilles sont calées et en même temps verrouillées; les aiguilles, en Allemagne, sont toujours rattachées à des signaux optiques. Il y en a de diverses espèces : des signaux optiques avec un levier, des signaux optiques ordinaires, c'est-à-dire avec une lanterne qui tourne de manière à permettre de voir à l'instant même dans quelle position se trouve l'aiguille. Outre cela, il y a un appareil de contrôle attaché directement à l'aiguille et un répéteur au poste central.

En ce qui concerne le talonnage, presque toutes les aiguilles, en Allemagne, sont disposées précisément pour le recevoir. Le principe est le même que celui que vient d'exposer M. le Rapporteur. Seulement, je dois ajouter que le contrôle d'une aiguille talonnée est reproduit doublement : 1° par le signal optique sur place (il y en a de différents systèmes, entre autres celui par lequel la lanterne se couvre d'un couvercle rouge); 2° par le poste central qui reçoit l'annonce automatique que telle ou telle aiguille a été talonnée.

On ne peut pas ne pas remarquer qu'un talonnage a eu lieu sur la ligne parce que l'appareil manipulateur devient rigide du moment que l'aiguille est talonnée; et, pour remettre le levier-disque du manipulateur dans sa position normale, il faut prendre un petit levier et faire tourner ce disque, qui s'est déplacé. Le contrôle est donc complet sous tous les rapports, ce petit levier étant fixé par une ficelle plombée.

En parlant de la transmission funiculaire, je dois ajouter qu'on est arrivé, en Allemagne, à remplacer par ce mode de transmission le block-system, ordinaire-

ment actionné par l'électricité; celle-ci n'est plus employée de préférence que pour les signaux acoustiques.

Je n'entre pas dans d'autres détails, parce qu'ils ne seraient bien compréhensibles qu'à l'aide de dessins.

Je terminerai, messieurs, en ajoutant quelques mots à ce qui vient d'être dit par l'honorable rapporteur sur l'appareil hydraulique de Bianchi. J'ai vu cet appareil, à la session de Milan du Congrès, fonctionner à Abbiategrosso. La raison qui a inspiré la pensée d'employer la force hydraulique, c'était précisément le reproche qu'on faisait au levier ordinaire à bras long de nécessiter l'emploi d'une force trop grande; tandis que, tenant compte des dépenses d'entretien, il était désirable de trouver un dispositif pouvant être manœuvré par de jeunes garçons et même par des femmes.

Bianchi est parvenu à résoudre le problème par l'emploi de la force hydraulique. A l'heure qu'il est, on a déjà établi en Italie 400 appareils de ce système. En France, on en a placé un nombre assez considérable sur les chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée et d'Orléans. L'appareil exposé en ce moment à Paris est le type primitif, mais celui qu'on installe en France est beaucoup perfectionné, surtout sous le rapport de l'enclenchement.

On peut dire que le problème de l'emploi de la force hydraulique, qui paraissait difficile à résoudre d'une manière satisfaisante pour les climats où les variations de température sont assez grandes, a été résolu d'une manière parfaite en ajoutant de la glycérine à l'eau dans une proportion variant de 3 à 55 p. c. Par ce procédé, on a la certitude que jamais les conduites ne seront gelées, et comme la quantité d'eau nécessaire pour obtenir le calage et le verrouillage est minime, il suffit d'un homme pour faire fonctionner l'appareil. La dépense d'un litre d'eau suffit pour 10 ou 11 manœuvres.

Aussi je suis convaincu, pour ma part, que l'appareil Bianchi, tel qu'il est maintenant perfectionné, est appelé à prendre une grande extension.

Je dois ajouter encore que la différence, quant au prix, entre la transmission funiculaire et la transmission par tringles rigides est de 1 à 5; c'est-à-dire que la transmission par tringles rigides coûte cinq fois plus pour des distances assez grandes.

On comprend, dès lors, l'intérêt qu'il y a de centraliser les postes en un même point.

J'ai vu, en Allemagne, près de Posen, des aiguilles manœuvrées à la distance de 1,650 mètres. Outre cela, le bloc se trouvait dans la gare à 450 mètres du poste.

La distance entre ces deux points était donc assez grande, et cependant la manœuvre se faisait d'une manière parfaite. Tel était aussi l'avis des ingénieurs et du personnel de la gare; ils n'avaient évidemment aucun intérêt à préférer un système à un autre, et ils étaient unanimes à reconnaître que le système funiculaire leur était le plus avantageux.

M. Lebon (*Belgique*). L'Administration du chemin de fer Grand Central Belge a exposé au Champ-de-Mars un appareil de transmission funiculaire pour la manœuvre à longue distance des aiguillages et des signaux des stations. Je regrette de n'avoir pas reçu de l'honorable rapporteur, M. Sabouret, le formulaire qu'il a adressé à d'autres Administrations en vue de la rédaction de son exposé; je me serais empressé de lui faire parvenir des renseignements précis sur le fonctionnement de notre appareil.

M. Sabouret. Je l'ai signalé dans mon rapport.

M. Lebon. Oui, mais avec des développements nécessairement insuffisants, et c'est pourquoi je vais me permettre de donner à la section les renseignements dont je viens de parler.

Voici tout d'abord, messieurs, dans quel ordre d'idées nous avons été amenés, au Grand Central, à étudier l'appareil qui nous occupe. Nous avons, sur les lignes que nous exploitons, bon nombre de stations qui n'ont d'importance que par leur trafic de transit, c'est-à-dire que le mouvement local qui s'y fait est insignifiant. Je citerai notamment les petites stations de la Campine échelonnées sur le parcours de la ligne d'Anvers à Gladbach; ces stations sont constituées, au point de vue des voies, d'une façon assez rudimentaire; elles se composent d'une voie principale prolongement de la ligne, qui est à voie unique, d'une voie de croisement longue de 500 mètres et d'une voie de chargement. Dans le but d'assurer la sécurité de notre exploitation, nous exigeons qu'un ouvrier soit présent aux excentriques de tête quand ils sont pris en pointe par les trains; nous avons ainsi, dans les petites stations dont je viens de parler, deux et jusqu'à trois ouvriers qui ont peu ou point de besogne en dehors des heures de passage des trains; nous avons donc un intérêt capital à en diminuer le nombre en établissant un appareil qui permette de manœuvrer les excentriques extrêmes et les signaux du bâtiment des recettes. Les premiers essais que nous avons faits sont restés infructueux; les allongements élastiques des fils de transmission faussaient les indications des leviers de manœuvre, c'est-à-dire que ces leviers pouvaient être mis au cran

d'arrêt alors que des obstacles dans la transmission ou aux excentriques et signaux étaient de nature à compromettre la sécurité de la circulation des trains. Nous avons bien songé à compléter notre appareil par l'adjonction de systèmes de contrôle en usage sur certains réseaux, mais les signaux optiques connexes avec le mouvement des excentriques et les sonneries trembleuses actionnées pendant la durée des dérangements des excentriques et des signaux ne nous ont pas paru présenter toute la sécurité désirable; au lieu d'un contrôle indirect, nous voulions un contrôle direct consistant dans l'impossibilité absolue de manœuvrer des appareils défectueux. Voici la solution que nous avons trouvée et qui répond, croyons-nous, aux conditions du problème que nous nous sommes posé : Les excentriques extrêmes des stations sont couverts par deux signaux avancés, dont l'un est le signal à distance, proprement dit, de la gare, et l'autre un signal supplémentaire qui n'est, à proprement parler, que le dédoublement du signal de croisement; celui-ci, placé actuellement au milieu de la station, serait donc supprimé.

Nous avons ainsi, pour chaque extrémité de la station, trois appareils, un excentrique et deux signaux, dont les leviers de manœuvre sont enclenchés et actionnés du bâtiment des recettes; si l'excentrique n'est pas en position absolument normale, il ne peut être manœuvré, non plus que les signaux qui le protègent, et un accident n'est, dès lors, possible à cet appareil que si le mécanicien franchit un signal à l'arrêt.

J'arrive maintenant à la description très sommaire du dispositif qui a pour but d'empêcher la manœuvre des leviers actionnant des appareils qui ne se trouvent pas en position normale. Les deux brins du fil de manœuvre sont attachés aux extrémités d'une pièce dite faux-balancier qui s'appuie contre un axe de rotation, mais qui peut s'en détacher par suite de la forme de son échancrure centrale; aussi longtemps que tout est normal dans les transmissions, les excentriques ou les signaux, la tension des brins, conducteur et conduit, est sensiblement la même, leur résultante passe par l'axe de rotation et le faux balancier ne fait qu'osciller autour de cet axe; mais dès que, d'une façon générale, un dérangement se produit aux transmissions ou aux appareils, le faux balancier abandonne son axe de rotation et, dans son mouvement relatif de translation, il déclenche une barre qui cale le levier de l'appareil défectueux et les leviers conjugués avec lui.

En vous faisant cette communication, je n'ai pu entrer dans tous les détails de l'appareil que nous avons exposé; mais un simple examen que vous en ferez au Champ-de-Mars complètera aisément mes explications. J'ajouterai que nous avons en service sur nos lignes un appareil similaire qui fonctionne depuis environ six

mois, et tout en convenant que cette expérience n'a pas une durée suffisante pour formuler une opinion certaine, je dois cependant déclarer que son mode de fonctionnement pendant ce laps de temps nous permet de croire que nous avons trouvé une solution satisfaisante de la question de la manœuvre à longue distance, par double fil, des excentriques et des signaux des stations. (*Applaudissements.*)

M. Bricka (*France*). Les appareils funiculaires soulèvent un certain nombre de questions dont on vient de parler. Il y a notamment celle de la dilatation, sur laquelle les ingénieurs ne sont pas d'accord. M. Sabouret nous a dit qu'un certain nombre d'entre eux pensent que la dilatation est de nature à compromettre la sécurité.

Depuis trois ans, nous employons, sur le réseau de l'État français, un appareil qui, sous le rapport de la dilatation, nous donne des résultats tout à fait concluants. Nous en avons emprunté le principe à ceux de la Compagnie des chemins de fer hollandais, et nous le désignons sous le nom d'appareil Asser, du nom de l'ingénieur qui l'a décrit dans la *Revue générale des chemins de fer*.

La dilatation est corrigée par la tension du fil.

Nous avons installé un des appareils des chemins de fer hollandais à Taillebourg, sur la ligne de Paris à Bordeaux. La longueur totale de la transmission est de 360 mètres, avec une courbe de 250 mètres de rayon sur 200 mètres. L'appareil a été mis en service provisoire le 18 février 1887, et en service définitif le 5 avril suivant. Il a été touché deux fois à la transmission pour régler les fils, et une troisième et dernière fois, le 26 avril 1889, à la suite du resabotage du changement manœuvré par l'appareil.

Tout en conservant le principe de l'appareil hollandais, nous avons cru devoir en modifier la construction pour l'adapter aux besoins de notre service; dans l'étude que nous avons faite à ce sujet, nous nous sommes préoccupés d'obtenir du premier coup un réglage définitif, de manière qu'on n'eût plus à toucher aux fils, quelle que fût la température. Nous avons adopté en conséquence un fil d'acier dont l'allongement, à la limite d'élasticité, est de 25 centimètres pour 100 mètres, sous un effort de 50 kilogrammes par millimètre carré, et nous avons admis en principe que le réglage serait fait au dynamomètre au moment de la pose; la tension initiale est calculée de telle façon qu'entre 20 degrés au-dessous de zéro et 50 degrés au-dessus, le fil soit toujours tendu.

Un appareil de ce type, installé à Nantes, a été posé le 26 juillet 1888. La longueur de transmission était de 485 mètres en courbe de 250 mètres. Au

Début, par suite de la tension des fils, le châssis en bois qui supporte l'appareil s'étant légèrement déplacé du côté du levier de manœuvre, on a été obligé de le ramener dans sa position primitive. Ce travail, exécuté le 20 août 1888, a nécessité un nouveau réglage des fils. Depuis cette époque, l'appareil a fonctionné d'une manière irréprochable sans qu'on ait touché ni à la transmission, ni à l'appareil lui-même.

Étant donné que nous sommes là dans des conditions très favorables de distance et de courbe, on peut conclure des expériences faites que l'appareil Asser offre toutes les garanties de sécurité.

Il y a un second point qui a causé aussi quelque inquiétude aux ingénieurs : c'est celui dont a parlé M. Lebon. Il s'agit de savoir si l'on peut avoir la certitude que l'aiguille, par suite de l'allongement du fil, ne restera pas immobile.

Nous avons adopté, pour nos petites gares, un système analogue à celui qu'a exposé M. Sabouret ; c'est un enclenchement avec le signal qui protège la gare. Le prolongement de la tige de manœuvre de l'aiguille est formé par une barre portant une encoche ; une barre analogue, portant également une encoche, est intercalée dans la transmission du signal qui protège la gare et placée perpendiculairement à la première ; chacune des deux barres ne peut se mouvoir qu'en passant par l'encoche de l'autre barre ; il en résulte que, lorsque le signal est ouvert, l'aiguille ne peut être déplacée de sa position normale, et réciproquement.

L'appareil est si simple, qu'après l'avoir essayé d'abord avec un signal à faible distance, nous l'avons appliqué à des transmissions de signaux ayant de 1,600 à 1,800 mètres de longueur.

En ce qui concerne les transmissions par fils qui servent à manœuvrer les appareils situés dans une gare, au moyen d'un poste central, nous n'en avons pas encore installé ; mais il y a un moyen simple d'éviter l'inconvénient signalé par M. Sabouret et d'empêcher que, par suite de l'extension du fil, le levier de manœuvre ne puisse prendre sa position normale alors que l'aiguille resterait entrebâillée : il suffit d'employer du fil de cinq millimètres de diamètre.

Je parle d'appareils dans lesquels la course est divisée en trois parties de longueurs à peu près égales, servant : la première au décalage, la seconde à l'aiguille, la troisième au calage. Avec ces appareils, il est impossible à un homme de force moyenne d'amener le levier de l'aiguille dans sa position définitive si le calage n'est pas commencé, par conséquent, si l'aiguille n'est pas dans sa position normale.

Nous estimons que cet appareil offre plus de sécurité que l'appareil à tringles,

celles-ci, quelque bonnes qu'elles soient, pouvant se raccourcir sensiblement, par suite du flambage.

Enfin, un dernier avantage qu'il est utile de signaler, en ce qui concerne les transmissions par fils, c'est l'extrême facilité avec laquelle sont installés tous ces appareils. Les transmissions rigides doivent être posées parfaitement en ligne droite, et la longueur des tringles doit être calculée rigoureusement; il est bien difficile d'obtenir tout cela sans le concours d'ouvriers spéciaux. Si, dans une gare, on a à faire des travaux de modification à l'emplacement des tringles rigides, on rencontre de grandes difficultés. Au contraire, avec les transmissions par fils, si on emploie des poulies qui s'orientent d'elles-mêmes, n'importe quel agent peut faire la pose. En aucun cas, la transmission ne peut offrir de difficulté.

Au point de vue de la dépense, la différence est considérable en faveur du système que je préconise : nos appareils ne coûtent pas plus de 500 francs.

Pour terminer, je dirai quelques mots d'un dispositif nouveau que nous avons étudié et qui permet de manœuvrer les aiguilles à la fois à distance et auprès de l'appareil lui-même.

Quand nous avons songé à installer les transmissions à distance dans les gares de peu d'importance, notre service d'exploitation a reconnu le grand avantage qu'il y avait à ce que le chef de gare pût, du bâtiment des voyageurs, faire constamment manœuvrer l'aiguille à distance, mais il a jugé nécessaire aussi, pour la manœuvre des wagons de marchandises, qu'on pût manœuvrer l'aiguille sur place, sans devoir retourner au bâtiment des voyageurs. Nous avons donc adopté un dispositif permettant les deux manœuvres; au moyen de serreuses fixées, d'une part, au lieu de manœuvre à distance, et d'autre part, à l'appareil, on obtient une sécurité absolue.

M. de Sytenko. Je dois ajouter un mot concernant la rupture des fils, question qui intéresse beaucoup le monde des ingénieurs.

En Allemagne, on emploie des appareils récepteurs disposés de telle manière qu'en cas de rupture du câble, l'aiguille se remette toujours dans sa position normale, et en même temps le signal optique ferme la voie. Simultanément aussi, au poste central, on apprend toujours tout de suite et par le même câble qu'il y a eu rupture.

De plus, afin de rendre les réparations rapides en cas de rupture des fils, on a imaginé un petit appareil qui mérite attention. Il a une longueur de 10 centimètres seulement quand il est développé; il n'en a que 3 ou 4 quand il est replié. L'agent chargé de surveiller la voie a cet appareil dans sa poche.

Dès qu'une rupture a lieu, il prend les bouts du fil brisé et les introduit dans les ouvertures formées par les membranes excentriques de l'appareil dont il est muni; dès ce moment, les fils sont enclenchés et aucun accident n'est à redouter, car au fur et à mesure de l'allongement des membranes parallèles de l'appareil, leurs parties excentriques serrent davantage les deux bouts introduits. Je ne manquerai pas de joindre à la note promise un dessin de ce petit appareil, fort utile.

M. Sabouret. Mais si la rupture se produit au moment où un train franchit l'aiguille?

M. de Sytenko. Je vous remercie de l'observation. En Allemagne, on a étudié la question de toutes les façons au point de vue de la sécurité, et notamment de l'éventualité que signale M. Sabouret. Pour y parer, on a recours, en Allemagne, à un verrouillage automatique des aiguilles, constitué de la manière suivante : Il y a un petit levier qui sert de pédale; à l'autre bout de ce levier se rencontre une pièce de cuir avec une fermeture métallique dans laquelle il y a un clapet et un robinet. Quand la première roue de la locomotive ou d'un wagon passe, le levier, s'appuyant sur la pièce de cuir, chasse l'air qui s'y trouve par le clapet. Au bout d'un certain temps, qu'on peut régler d'avance, au moyen du robinet, ayant une coupure dans le sens de sa longueur, l'air y entre, et la pédale, munie d'un ressort, agit. Après que la dernière roue a passé, l'appareil se redresse au bout d'un certain temps nécessité par le passage de l'air, qui entre dans le sac en cuir et le ramène à son état normal. Mais quand le levier est abaissé, il enclenche et verrouille l'aiguille, de manière que ni le poste central, ni l'aiguilleur ne peuvent jamais agir sur l'aiguille tant que l'appareil ne s'est pas redressé. Ce qui demande 10 à 15 secondes et peut être réglé d'avance.

M. Sabouret. La Compagnie du Gothard avait placé une pédale pneumatique; mais le fonctionnement n'en était pas régulier.

M. de Sytenko. Les chemins de fer allemands emploient deux systèmes pneumatiques et en sont parfaitement satisfaits.

M. Sabouret. Je signale la réponse que m'a faite la Compagnie du Gothard.

M. de Sytenko. Cela doit dépendre aussi du mode de construction de l'appareil.

M. Bouissou (*France*). A l'occasion de la communication qui vient de nous

être faite concernant les observations auxquelles ont donné lieu les transmissions funiculaires et l'emploi de ces transmissions en Allemagne, on nous a dit que, dans ce pays, on avait aussi utilisé ces sortes de transmissions pour obtenir une station de bloc ou de cantonnement.

Sans entrer dans ces détails, je crois devoir vous faire connaître qu'au chemin de fer de l'Ouest, nous avons installé des stations de cantonnement qui n'exigent pas l'emploi de l'électricité et ne réclament que l'emploi du fil.

Après avoir installé cet appareil à certains postes entre Paris et Asnières, nous avons établi le même système sur la ligne d'Auteuil, entre cette localité et Paris. Cette installation remonte maintenant à dix-huit mois, et elle a parfaitement fonctionné, comme on peut s'en assurer. L'appareil figure à l'Exposition, dans la classe 61.

M. A. d'Abramson (*Russie*). En comparant le système funiculaire au système des tringles rigides, M. le Rapporteur n'a abouti qu'à une conclusion fort vague. Il me semble cependant que la distance est un des côtés les plus sérieux de cette question, et il serait désirable que l'on fût fixé d'une manière plus précise sur la solution à y donner.

Jusqu'à présent, nous avons entendu plusieurs de nos collègues nous parler du système funiculaire; il serait très intéressant d'entendre l'opinion des ingénieurs qui ont vu fonctionner sur leurs réseaux le système rigide et de connaître les plus grandes distances auxquelles on est arrivé.

M. Bouissou. Sur notre réseau, la distance la plus longue est sensiblement supérieure à 400 mètres.

M. Jules Michel. Nous n'avons pas dépassé 300 mètres avec les tringles rigides.

M. A. d'Abramson. Aux chemins de fer du Sud-Ouest de la Russie, nous n'avons pu, jusqu'à présent, dépasser la distance de 200 mètres, sans que la manœuvre des aiguilles devienne extrêmement difficile. C'est pourquoi cette question nous intéresse particulièrement.

M. de Sytenko. Avec les tringles rigides, on peut placer l'appareil à des distances plus ou moins grandes, en évitant les passages raides, comme en plan vertical ainsi qu'en plan horizontal; mais si l'on envisage la question au point de vue de l'économie ou de la facilité des manœuvres, je crois que c'est toujours le système funiculaire qui méritera la préférence.

Mais au point de vue technique, on ne peut faire aucune objection contre le système des tringles rigides; d'autant plus que, par suite des perfectionnements qu'on y a apportés en vue d'en prévenir la déformation, elles fonctionnent maintenant parfaitement bien.

En ce qui concerne le système hydraulique, comme l'a dit M. le Rapporteur, on n'en connaît pas encore le coût, et, pour ma part, je n'ai pu me procurer aucun renseignement à cet égard; tout ce que je puis dire, c'est que l'entretien et la manœuvre par le système hydraulique ne doivent pas revenir cher.

M. Hohenegger (*Autriche*). Nous avons toujours préféré, en Autriche, le système des tringles rigides.

Cependant, au cours de ces dernières années, nous avons eu à établir un certain nombre de petites stations intermédiaires pour faciliter, sur la ligne à simple voie, la circulation de nos grands trains de charbons, qui ont quelquefois une longueur de plus de 700 mètres, et nous avons dû y installer des stations de 750 mètres de longueur. Pour épargner un aiguilleur, nous avons installé un poste central qui est éloigné à peu près de 500 mètres et de 250 mètres des deux bouts de la gare, pour la manœuvre des aiguilles.

Mais le système des tringles rigides, à ces distances, ne travaille plus assez sûrement et nous devons aviser à un autre moyen de faire travailler les aiguilles.

M. de Sytenko. Un mot encore par rapport à l'emploi des câbles. On dit qu'avec le système funiculaire, on n'est pas toujours sûr que la manœuvre a eu lieu. En Allemagne, dans différentes gares de triage, où le poste central est établi à une assez grande distance, il y a une correspondance entre la voie de triage et ce poste au moyen d'un câble. Elle s'établit à l'aide de deux disques, dont l'un se trouve précisément sur le point central du partage des voies de triage. Sur le disque sont marqués les numéros des voies. Un levier servant d'aiguille et monté sur l'axe de la poulie-manipulateur, est utilisé pour indiquer la voie demandée. Au poste central se trouve un autre disque fixe, masqué par une poulie-récepteur dans laquelle est percé un petit œil-de-bœuf où apparaît le numéro demandé.

La poulie-manipulateur et la poulie-récepteur sont réunies par un câble sans fin. Il suffit d'un écartement de quelques degrés, 15 à 20, pour que le numéro demandé à la gare de triage apparaisse au poste central. Cette application du câble démontre la confiance acquise par ce système de transmission.

Si le même numéro se montre aux deux postes, on a la certitude que le câble

sans fin fonctionne parfaitement. On est arrivé à ce résultat en employant le compensateur que j'ai indiqué, c'est-à-dire avec les secteurs et les contrepoids.

— La discussion est close.

Séance du 18 septembre 1889 (après-midi)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK

RAPPORTEUR : M. SABOURET

M. le Président. La parole est à M. Perk, pour donner lecture du rapport résumant la discussion de la IV^e question.

M. Perk. « M. Sabouret, ingénieur du service central de la voie du chemin de fer de Paris à Orléans, rapporteur de la question IV, nous a donné un exposé basé sur les renseignements fournis par vingt-huit Compagnies, représentant ensemble 67,000 kilomètres de chemins de fer.

« M. Sabouret a, en outre, reçu depuis la rédaction de son rapport les renseignements de deux Compagnies qui ne donnent comme indication complémentaire que l'emploi des transmissions funiculaires jusqu'à 600 mètres.

« Le rapporteur rappelle tout d'abord qu'il n'a eu à examiner que les modes de transmission, indépendamment de tout système d'encelchement.

« On est conduit à manœuvrer les aiguilles à distance dans trois cas bien distincts, suivant que l'on recherche la sécurité seule, ou une économie de personnel seule, ou la sécurité et l'économie de personnel en même temps.

« La classification des modes de transmission ne peut se faire que d'une façon empirique : le rapporteur a adopté celle basée sur la nature des transmissions, qui donne lieu à cinq catégories :

- « Transmissions par tringles rigides ;
- « — funiculaires ;
- « — hydrauliques ;
- « — pneumatiques ;
- « — électriques.

« Ces dernières, installées par la Compagnie du Nord, n'en sont encore qu'à la période d'essai; quant aux transmissions pneumatiques, elles ne paraissent pas encore avoir reçu d'application en Europe.

« Les transmissions par tringles rigides paraissent avoir été les premières employées, parce que l'on n'a eu à franchir que de faibles distances; mais dès qu'il s'est agi de manœuvrer des appareils à grande distance, on a été, dans presque tous les pays, conduit à faire usage de transmissions funiculaires.

« La transmission funiculaire est toujours établie avec deux fils, généralement en acier très résistant et très élastique, de 3^{mm}5 à 6 millimètres de diamètre.

« L'utilité des compensateurs de dilatation est l'objet d'avis très partagés.

« Les appareils sont de deux natures :

« 1° Ceux destinés à produire un simple mouvement alternatif;

« 2° Ceux qui doivent, en outre, produire un verrouillage.

« Les types de ces appareils sont très divers, et cette diversité est due tant à la diversité des règlements qu'à l'intérêt des constructeurs et à la rivalité des services de la construction dans les Compagnies de chemins de fer.

« Les transmissions hydrauliques commencent seulement à se répandre.

« Le rapporteur traite ensuite des appareils de contrôle, qui sont presque indispensables avec les transmissions funiculaires, et des dispositifs spéciaux destinés à protéger les aiguilles non talonnables.

« Dans la discussion, des détails très intéressants sont donnés sur la nature et la longueur des transmissions en service en France et aux Pays-Bas, en Allemagne, en Russie, en Belgique et en Autriche, sur le choix qu'il convient de faire d'après la distance, les considérations d'économie et de sécurité. On s'accorde généralement à reconnaître l'avantage aux transmissions funiculaires pour les longues distances, tant pour la manœuvre des appareils que pour le block-system.

« La 1^{re} section propose au Congrès d'adopter les conclusions suivantes qui sont celles du rapport de M. Sabouret, légèrement modifiées dans la forme :

« Le choix entre les systèmes de transmission rigides ou funiculaires dépend le plus souvent des circonstances locales.

« Toutefois, on peut dire que pour les distances de 50 mètres et au-dessous, les tringles rigides paraissent préférables; qu'entre 50 et 200 mètres, le choix des

“ deux systèmes est commandé par des considérations d'espèces, et qu'au delà de
“ 200 mètres, les transmissions funiculaires reprennent l'avantage.

“ Quant aux transmissions hydrauliques, pneumatiques et électriques, leur
“ emploi est encore trop restreint pour que des conclusions puissent être for-
“ mulées à leur égard. ”

— Ces conclusions sont adoptées.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 21 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. Sabouret donne lecture du rapport de la 1^{re} section sur la question IV et des conclusions proposées. (Voir ci-dessus le compte rendu de la séance du 18 septembre (après-midi) de la 1^{re} section.)

M. Cossmann (*France*). Les conclusions proposées portent : « Toutefois, on « peut dire que pour les distances de 50 mètres et au-dessous, les tringles rigides « paraissent préférables. » L'indication de la limite inférieure me semble pouvoir être sujette à réclamations. Les transmissions funiculaires offrent certainement des avantages, surtout quand il n'y a pas une grande distance entre la voie principale et les voies de raccordement. Ne pourrait-on pas dire : « Toutefois, pour de faibles distances », au lieu d'indiquer un minimum?

M. Sabouret. Il me semble que la conclusion proposée laisse une grande latitude, puisqu'elle établit l'égalité entre les deux systèmes pour les distances de 50 à 200 mètres. En Angleterre, on rejette les transmissions funiculaires même pour les grandes distances. En Allemagne et en Suisse, au contraire, on préfère ce système même pour de courtes distances.

Sir A. Fairbairn. Cette question a été longuement discutée par la 1^{re} section, et je crois que nous devons maintenir sa décision.

M. le Président. Insistez-vous, monsieur Cossmann, sur vos observations? Elles seront, d'ailleurs, consignées au procès-verbal.

M. Cossmann. Non, monsieur le Président, je n'insiste pas.

M. le Président. Je propose donc l'adoption de la rédaction suivante :

“ Le choix entre les systèmes de transmission rigides ou funiculaires dépend
“ le plus souvent des circonstances locales. Toutefois, on peut dire qu'en général,
“ pour les distances de 50 mètres et au-dessous, les tringles rigides paraissent
“ préférables; qu'entre 50 et 200 mètres, le choix des deux systèmes est com-
“ mandé par des considérations d'espèces, et qu'au delà de 200 mètres, les
“ transmissions funiculaires reprennent l'avantage.

“ Quant aux transmissions hydrauliques, pneumatiques et électriques, leur
“ emploi est encore trop restreint pour que des conclusions puissent être formu-
“ lées à leur égard. »

— Ces conclusions sont adoptées.

$$\frac{\mathbf{v}}{1}$$

QUESTION V

ÉCHANGE DES VOITURES A VOYAGEURS ENTRE DEUX VOIES PARALLÈLES

Quelles sont les meilleures dispositions à employer pour l'échange rapide des voitures entre deux voies parallèles (plaques, chariots à niveau ou à fosse, aiguilles)?

QUESTION V

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|---|--------|
| Exposé par M. BRIÈRE | V — 3 |
| Note par M. JULES MICHEL. | V — 16 |
| Discussion en sections | V — 18 |
| — en séance plénière et conclusions | V — 38 |

EXPOSÉ

Par A. BRIÈRE

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES,
INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ENTRETIEN DES CHEMINS DE FER DE PARIS A ORLÉANS

AVANT-PROPOS.

La cinquième question présente un intérêt assez sérieux pour l'exploitation des chemins de fer, et cet intérêt devient chaque jour plus grand. Les Compagnies cherchent de plus en plus à assurer le bien-être du public. Un des points qui ont attiré leur attention est la suppression des transbordements. Les trains de long parcours renferment des voitures à destination de lignes secondaires. Dans les gares où se croisent les grands courants, il faut retirer ou ajouter au train une voiture venant d'une direction opposée. Le train qui part de Bâle pour le Saint-Gothard se compose de voitures venant de Calais, d'Ostende, de Paris, de Cologne, de Francfort. Il faut pouvoir les ajouter rapidement au train, d'autant plus rapidement qu'il s'agit d'un express pour le trajet duquel les minutes sont comptées. C'est ce genre d'échange que la Commission internationale du Congrès a eu en vue en posant la cinquième question. Nous avons cherché à le faire comprendre

en envoyant un questionnaire aux divers adhérents, mais nos indications n'étaient probablement pas assez claires; plusieurs Compagnies nous ont répondu par l'envoi d'appareils d'ateliers que nous avons dû à priori écarter de notre étude.

Notre questionnaire a été envoyé à cinquante-cinq Compagnies, représentant 102,000 kilomètres; trente et une réponses ont été reçues, elles émanent d'Administrations exploitant 73,000 kilomètres.

Nous joignons à la présente note un tableau indiquant le résumé de chacune des réponses; elles peuvent être groupées et analysées de la manière suivante :

ANALYSE DES RÉPONSES.

La question ne présente pas d'intérêt pour les Compagnies qui ont une proportion notable de matériel à bogies ou à très grand écartement d'essieux. Pour celles-là, les plaques ou les chariots sont inapplicables, et il ne reste d'autre procédé d'échange que les aiguilles. Peut-être est-ce à cette considération qu'on doit attribuer le fait que presque toutes les Compagnies ayant répondu n'ont que du matériel à petit écartement d'essieux. On doit également remarquer que c'est en Allemagne que le matériel à bogies est le plus répandu et que les Allemands n'ont pas adhéré au Congrès.

Quoi qu'il en soit, les réponses reçues sont suffisantes pour permettre d'en tirer quelques conclusions utiles.

Nous allons examiner successivement les trois procédés qui sont en présence.

AIGUILLAGES.

Parmi les Compagnies qui nous ont répondu, seize, représentant 26,000 kilomètres, n'ont ni plaques tournantes ni chariots; elles font toutes leurs manœuvres avec des aiguilles. Si on isole celles qui ont un matériel à grand écartement d'essieux, on trouve encore huit Compagnies, représentant 13,600 kilomètres, dont le matériel est à faible écartement et qui cependant font toutes leurs manœuvres avec des diagonaux. C'est là un document important; rien ne serait plus facile à ces Compagnies que d'employer des plaques tournantes; elles ne les considèrent pas comme utiles, et cependant quelques-unes de ces Compagnies ont à assurer de nombreux échanges de wagons; nous citerons notamment les Chemins andalous dans les gares de bifurcation de Roda et de Bobadilla.

On doit donc admettre que le procédé d'échange par aiguillages est pratique, compatible avec une exploitation intense. Les inconvénients qu'il présente sont

de promener des wagons dans lesquels se trouvent des voyageurs et aussi d'arrêter le service des fourgons pendant que la tête du train manœuvre sur les voies : il doit évidemment en résulter des retards, et les stationnements des trains dans les gares où se font ces manœuvres seraient raccourcis par l'emploi de plaques ou de chariots.

Nous avons espéré retirer de l'enquête quelques renseignements sur les dispositifs des aiguillages. Il y a un tel intérêt à raccourcir les longueurs des diagonaux de manœuvre, que nous avons pensé pouvoir profiter de quelques expériences faites. Notre espoir a été déçu. Toutes les Compagnies nous ont répondu que leurs aiguillages de gare étaient du même type qu'en pleine voie. Il est cependant à notre connaissance qu'en Angleterre notamment, on a renoncé dans les gares aux types uniformes de changements et de croisements. Tous les aiguillages sont faits à la demande; ils chevauchent et s'enchevêtrent l'un dans l'autre; les rayons tombent à de très faibles longueurs. Il y a là une question d'espèce et il est difficile de rien indiquer de bien précis; ce n'est que par la vue des appareils qu'on peut se rendre compte de l'ingéniosité des combinaisons adoptées.

PLAQUES.

Les échanges par plaques donnent toute satisfaction au point de vue du service. Aucune Compagnie ne songe à les abandonner, à moins d'y être forcée par l'allongement du matériel. Mais cet allongement s'impose dans plus d'un cas. En présence de cette nécessité, certaines Compagnies ont immédiatement renoncé aux plaques; d'autres ont cherché à lutter en agrandissant les diamètres.

Le plus grand diamètre pratique semble être celui de 6^m20; c'est celui des Compagnies françaises du Midi et d'Orléans. Le type est bon, il fonctionne bien. Il permet de tourner des voitures ayant 5^m50 d'écartement d'essieux. Ces plaques pèsent, y compris cuvelage, 20 tonnes et reviennent à 4,000 francs environ. Elles sont en fer, fonte et acier; elles se posent sur ballast sans fondations.

Leur inconvénient très grave est le grand écartement de voie qu'elles exigent si on veut poser toute la batterie sur une seule file; cet écartement est de 6^m50 d'axe en axe des voies. Aussi est-on obligé souvent de les poser sur deux files alternées suivant le procédé dit « en quinconce ». La sujétion qui en résulte est assez grave, mais non insurmontable.

Les réponses que nous avons reçues signalent un type de plaques de 7 mètres

de diamètre sur les chemins de fer de l'État hongrois, mais nous avons lieu de croire qu'il ne s'agit pas d'un appareil d'usage courant dans les gares.

CHARIOTS.

Notre étude ne vise, bien entendu, que les chariots sans fosse et sans altération sensible des rails de la voie courante.

Cette solution est encore peu répandue. Huit Compagnies, représentant, il est vrai, 22,000 kilomètres, nous signalent l'emploi de ce genre d'appareils comme étant courant sur leur réseau. Il semble à peu près prouvé que le chariot est une sorte d'étape transactionnelle adoptée par les Compagnies qui ont augmenté leur écartement d'essieux et qui, ne voulant pas recourir uniquement aux aiguillages, se sont trouvées gênées par le diamètre croissant des plaques. C'est évidemment un expédient très précieux, qui permet surtout de rapprocher les voies et fait gagner beaucoup de terrain dans les gares.

Néanmoins, là aussi on est arrêté par la longueur croissante des voitures. Le plus long chariot qu'on nous signale est celui de la Compagnie de Paris à Lyon, qui peut porter des voitures à 6^m50 d'écartement d'essieux.

Le problème du chariot roulant est difficile à résoudre, surtout lorsqu'on veut qu'il puisse se loger dans l'entre-voie, et cependant c'est là une condition extrêmement désirable. Parmi les appareils qu'on nous signale, le seul qui paraisse tout à fait satisfaisant est celui de la Compagnie de Lyon. Cette Compagnie, qui a abandonné déjà depuis longtemps les plaques tournantes et qui a tout à fait généralisé le chariot, attache naturellement la plus grande importance au bon fonctionnement de cet appareil; elle lui a fait subir de nombreuses améliorations, et elle semble aujourd'hui avoir tout à fait réussi. Nous ne croyons pouvoir mieux faire que de joindre au présent rapport une note que nous devons à l'obligeance de M. Michel, ingénieur en chef de cette Compagnie. Elle indique notamment les derniers perfectionnements qu'on vient de réaliser.

CHARIOTS MANŒUVRÉS MÉCANIQUEMENT.

Aucune des Compagnies qui nous ont répondu ne nous a signalé l'emploi de cet engin. Il est cependant à notre connaissance que ce procédé est employé dans quelques grandes gares; le moteur mécanique est généralement mû par la vapeur; il y a deux types distincts: dans l'un, le moteur fait corps avec le chariot lui-même; dans l'autre, il en est indépendant, c'est une petite locomobile ou une

petite locomotive qu'on peut atteler au chariot, et ce dernier peut être également manœuvré soit à bras, soit avec un cheval. Quand le moteur fait corps avec le chariot, l'ensemble devient encombrant, il empiète sur les voies latérales, il exige des garages transversaux. Il s'agit alors d'un appareil spécial, c'est une question d'espèce et non plus un outil d'un usage courant et général.

COMPARAISON DES DIVERS PROCÉDÉS.

Une des considérations capitales dans le choix des procédés est la question d'économie. Il est malheureusement difficile de la chiffrer exactement. D'abord, la question n'est jamais entière, il est bien rare aujourd'hui qu'on opère sur un terrain vierge et il y a dans chaque cas à tenir compte des faits acquis. S'il s'agissait de créer un réseau de toutes pièces, comme en Corse, comme dans la Sibérie, comme dans la Chine, l'hésitation ne semblerait pas possible; il faudrait profiter de l'expérience acquise, renoncer aux plaques et aux chariots et employer exclusivement les aiguillages. Mais posée dans ces termes, la question intéresse peu de gens. Le cas qui se présente le plus fréquemment aujourd'hui, c'est la transformation, la reconstruction d'une grande gare de bifurcation et de transit; l'utilisation des installations déjà faites et le plus souvent la difficulté de s'étendre jouent alors un rôle prépondérant. Si on laisse de côté ces considérations tout à fait locales, on réduit la question d'argent aux termes suivants :

La plaque de 6^m20 coûte 4,000 francs; il en faut une pour chaque voie desservie. Le chariot Paris-Lyon-Méditerranée coûte 3,700 francs; il n'est besoin que d'un seul pour desservir tout un faisceau. Il faut, il est vrai, ajouter la dépense nécessaire pour le chemin de roulement, mais cette dépense est minime et sans influence sur le résultat final. On peut être amené sur un grand faisceau à avoir deux chariots pour desservir la même file; même avec cette condition, il est incontestable que le chariot est beaucoup meilleur marché que les plaques.

Quant au procédé par aiguillages, on peut admettre qu'un diagonal représente deux plaques, quelquefois trois. Or, un diagonal coûte 1,500 francs à peine.

On peut donc dire qu'au point de vue purement économique, et abstraction faite des circonstances locales, le procédé le plus économique est celui des aiguillages et ensuite celui du chariot.

Si on laisse de côté la question d'argent, on peut faire ressortir les considérations suivantes au profit ou au détriment de chaque procédé.

Les aiguillages réservent complètement la question d'allongement des véhicules, considération fort grave en présence de la tendance générale qui se manifeste à cet allongement. Mais les manœuvres sont plus longues; elles sont désagréables au public que l'on promène dans les gares; elles ralentissent le service des fourgons; elles exigent certainement de plus longs stationnements dans les gares où les trains doivent être remaniés.

Les plaques sont d'une manœuvre facile, même avec un personnel restreint. Seules, elles permettent les retournements bout pour bout. L'échange d'une voiture entre deux trains stationnant sur des voies parallèles voisines est particulièrement rapide et facile. Les plaques étant indépendantes les unes des autres, on peut travailler à la fois en plusieurs points de la batterie : avantage très sérieux. Mais elles sont très coûteuses. L'augmentation progressive de leur diamètre exige promptement la pose en quinconce, qui n'est pas sans inconvénient ni sans danger. Ce diamètre lui-même est limité; on en est arrivé déjà, sur plusieurs grands réseaux, à des écartements d'essieux incompatibles avec les plaques.

Le chariot a des limites d'emploi plus étendues que les plaques; il tient peu de place; sa manœuvre est aussi rapide que celle des plaques; il est très économique d'établissement. Mais la manœuvre en est souvent pénible et exige un personnel plus nombreux; ses conditions techniques de construction sont très difficiles. Les nombreux et sérieux mécomptes auxquels il a donné lieu ont jeté sur cet instrument un véritable discrédit. La plupart des ingénieurs consultés disent que si on pouvait leur garantir un bon chariot, ils l'adopteraient volontiers. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, dont l'autorité est indiscutable, affirme avoir résolu le problème; cette affirmation paraît exacte, mais les derniers tâtonnements sont encore récents; la confiance n'est pas absolue : il faut encore attendre.

L'état de la question est donc le suivant : *Aucune des Compagnies employant exclusivement l'aiguillage ne songe à introduire ni les plaques, ni le chariot. On en est arrivé à des diamètres de plaques qu'il ne semble plus possible de dépasser. Il y a une tendance à substituer le chariot aux plaques, et l'obstacle le plus sérieux à cette substitution est la difficulté d'avoir un chariot facilement manœuvrable. Le chariot Paris-Lyon-Méditerranée pour voiture à 6^m50 d'écartement d'essieux paraît donner satisfaction.*

A N N E X E

A

**L'EXPOSÉ DE LA QUESTION DE L'ÉCHANGE RAPIDE DES VOITURES
A VOYAGEURS ENTRE DEUX VOIES PARALLÈLES**

Annexe à l'exposé de la question de l'échan

Résumé des renseignements

| Numéros. | INDICATION des COMPAGNIES | Kilomètres. | NATURE DU MATÉRIEL ROULANT. |
|----------|-------------------------------------|-------------|---|
| 1 | <i>Etat autrichien</i> | 5,209 | Essieux parallèles. Écartement maximum, 5 ^m |
| 2 | <i>Etat hongrois</i> | 4,226 | Essieux parallèles. Écartement, 5 mètres. voitures à 6 mètres. On ne généralise pas c |
| 3 | <i>Lemberg-Jassy</i> | 721 | Essieux parallèles. Écartement maximum, 4 ^m |
| 4 | <i>Charles-Louis de Galicie . .</i> | 842 | Pas de renseignements sur le matériel. |
| 5 | <i>Sud de l'Autriche</i> | 2,594 | 84 p. c. du matériel à 2 essieux parallèles écartement de 3 ^m 10 à 4 ^m 80. 2 p. c. à 3 essieux avec écartement de 6 ^m 30. 12 p. c. à 4 essieux parallèles. 2 p. c. à bogies. |
| 6 | <i>Etat belge</i> | 3,191 | 17 voitures à bogies sont en construction. L'ancien matériel est à 2 essieux, avec écar 4 mètres. Tout le matériel nouveau est à 3 essieux av ment de 7 mètres. |
| 7 | <i>Grand Central Belge . . .</i> | 611 | Essieux parallèles. Écartement maximum, 4 ^m |
| 8 | <i>Etat danois</i> | 1,525 | Essieux parallèles. Voitures à 2 essieux avec é de 3 ^m 96. Quelques voitures à 3 essieux : é 7 mètres. |
| 9 | <i>Andalous.</i> | 883 | Essieux parallèles. Écartement, 3 ^m 50. Quel tures de luxe avec écartement de 4 ^m 25. |
| 10 | <i>Madrid-Saragosse-Alicante .</i> | 2,672 | Essieux parallèles. Écartement, 3 ^m 20. |

voitures à voyageurs entre deux voies parallèles.

des divers adhérents au Congrès.

| MOCÉDÉ EMPLOYÉ DE PRÉFÉRENCE. | RENSEIGNEMENTS SUR LES PLAQUES. | RENSEIGNEMENTS SUR LES CHARIOTS. |
|--|--|--|
| chariots, ni plaques. Emploi exclusif des aiguilles. | " | " |
| emploi concurrent des plaques et des aiguilles. Pas de chariots. | Deux types de plaques, 4 ^m 60 et 7 mètres. Les plaques de 4 ^m 60 sont seules employées pour voies parallèles. | " |
| chariots, ni plaques. Emploi exclusif des aiguilles. | " | " |
| — — — | " | " |
| tendance à abandonner les plaques et à leur substituer, soit le chariot, soit des aiguilles. | Diamètre, 5 mètres. | Chariot pour voitures avec 4 mètres d'écartement d'es- sieux. |
| tendance à l'abandon des plaques pour ne plus employer que les aiguilles. de chariot. | Diamètre, 4 ^m 80. | " |
| chariots, ni plaques. Emploi exclusif des aiguilles. | " | " |
| — — — | " | " |
| — — — | " | " |
| emploi très général des plaques. Ten- dence à leur substituer le chariot. | Diamètre, 4 ^m 50. | Chariot Paris-Lyon-Méditer- ranée pour voitures avec 5 mètres d'écartement d'es- sieux. |

| Numéros. | INDICATION des COMPAGNIES | Kilomètres. | NATURE DU MATÉRIEL ROULANT. |
|----------|--|-------------|--|
| 11 | <i>Tarragone-Barcelone-France.</i> | 547 | Matériel mixte. Il y a une forte proportion de v à bogies. L'écartement pour les voitures à e parallèles est de 4 mètres. |
| 12 | <i>État français</i> | 2,504 | Essieux parallèles. Écartement, 3 ^m 75. Quelques voitures de luxe avec écartement de 5 ^m 40. |
| 13 | <i>Est français</i> | 4,284 | Essieux parallèles. Écartement primitif, 3 ^m 60; e ment actuel, 5 ^m 70. |
| 14 | <i>Midi français</i> | 2,584 | Essieux parallèles. Écartement primitif, 2 ^m 65; e ment nouveau, 5 ^m 50. |
| 15 | <i>Ouest français</i> | 4,255 | Essieux parallèles. Écartement normal, 3 ^m 75. Qu voitures de luxe à 4 ^m 40 et même à 5 ^m 50. |
| 16 | <i>Paris Lyon-Méditerranée. .</i> | 8,362 | Essieux parallèles. Écartement ancien, 4 ^m 30. Une proportion de voitures avec 6 mètres d' écarteme |
| 17 | <i>Paris à Orléans</i> | 5,517 | Essieux parallèles. Écartement adopté, 5 ^m 50. |
| 18 | <i>Great Northern.</i> | 1,265 | Matériel à bogies ou à essieux parallèles, avec très grand écartement d'essieux allant j ^u 11 mètres. |
| 19 | <i>Great Western</i> | 3,907 | Matériel à bogies ou à essieux parallèles, mais ave grand écartement d'essieux. |
| 20 | <i>South-Eastern</i> | 594 | Essieux parallèles. Écartement des voitures à 2 e de 2 ^m 60 à 4 ^m 90 Écartement des voitures à 3 e de 4 ^m 90 à 6 ^m 40. |
| 21 | <i>Adriatique italien</i> | 4,698 | Essieux parallèles. Matériel ordinaire, 4 ^m 25 d' e ment. Matériel exceptionnel, 6 et même 7 mètre |
| 22 | <i>État néerlandais</i> | 1,427 | Essieux parallèles. Écartement de 5 ^m 50 à 6 ^m 44. |
| 23 | <i>Compagnie royale des che- mins de fer portugais . .</i> | 579 | Essieux parallèles. Écartement ordinaire, 3 ^m 20; e ment exceptionnel, 4 ^m 20. |
| 24 | <i>Etat roumain</i> | 1,902 | Essieux parallèles. Écartement de 4 ^m 80 à 5 mètres |

| MÉTHODE EMPLOYÉE DE PRÉFÉRENCE. | RENSEIGNEMENTS SUR LES PLAQUES. | RENSEIGNEMENTS SUR LES CHARIOTS. |
|--|---|--|
| Tendance à l'abandon des plaques et à la substitution du chariot. | Diamètre, 5 mètres. | Chariot pouvant porter des voitures avec 4 mètres d'écartement d'essieux. |
| Tendance à peu près exclusif des plaques. Surtout des chariots. | Diamètre, 4 ^m 50. | " |
| Tendance des plaques. Emploi exclusif des chariots ou des aiguilles. | " | Chariot pouvant porter des voitures avec 5 mètres d'écartement d'essieux. |
| Tendance à l'abandon des plaques pour substituer le chariot. | Diamètre ordinaire, 5 mètres. Diamètre exceptionnel, 6 ^m 20. | Chariot pouvant porter des voitures avec 5 ^m 50 d'écartement d'essieux. |
| Tendance à peu près exclusif des plaques. | Diamètre unique, 4 ^m 50. | " |
| Tendance des plaques. Emploi exclusif du chariot et des aiguilles. | " | Chariot pouvant porter des voitures avec 6 ^m 50 d'écartement d'essieux. |
| Tendance exclusive des plaques. | Diamètre ancien, 4 ^m 40. Diamètre nouveau, 6 ^m 20. | " |
| — des aiguilles. | " | " |
| — — | " | " |
| Tendance à l'abandon des plaques. Emploi du chariot. | " | Chariot non décrit. |
| Tendance exclusive des plaques. Tendance à substituer les aiguillages. | Diamètre, 5 ^m 50. | " |
| Tendance exclusive des aiguillages. | " | " |
| — des plaques. | Diamètre, 4 ^m 50. | " |
| — des aiguillages. | " | " |

| Numéros. | INDICATION des COMPAGNIES | Kilomètres. | NATURE DU MATÉRIEL ROULANT. |
|----------|---|-------------|--|
| 25 | <i>État de Finlande</i> | 1,178 | Pas de renseignements. |
| 26 | <i>Grande Société des chemins de fer russes</i> | 2,371 | — |
| 27 | <i>État suédois</i> | 2,464 | Essieux parallèles. Écartement, 4 ^m 11. |
| 28 | <i>État norvégien</i> | 1,494 | Matériel mixte à bogies et à essieux parallèles. |
| 29 | <i>Saint-Gothard</i> | 266 | L'écartement est de 4 ^m 40 pour 40 p. c. des voitures — — 5 ^m 00 pour 47 — — — — 5 ^m 50 pour 5 — — — — 5 ^m 60 pour 3 — — 5 p. c. de l'effectif est à bogies. |
| 30 | <i>Jura-Berne-Lucerne</i> | 317 | La moitié du matériel est à bogies. Pour l'autre moitié l'écartement d'essieux est très grand. |
| 31 | <i>Suisse occidentale</i> | 603 | 10 p. c. du matériel est à bogies. Le reste est à essieux parallèles; l'écartement adopté est de 5 mètres. |

| MOCÉDÉ EMPLOYÉ DE PRÉFÉRENCE. | RENSEIGNEMENTS SUR LES PLAQUES. | RENSEIGNEMENTS SUR LES CHARIOTS. |
|---|---|--|
| <p>loi exclusif des aiguilles.</p> <p>— —</p> <p>— —</p> <p>— —</p> <p>— —</p> <p>— —</p> | <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> | <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> |
| <p>loi exclusif du chariot et des aiguilles.</p> | <p>"</p> | <p>Chariot pouvant porter des voitures avec 5 mètres d'écartement.</p> |

NOTE

Par JULES MICHEL

INGÉNIEUR EN CHEF AU CHEMIN DE FER DE PARIS À LYON ET À LA MÉDITERRANÉE

CHARIOT TRANSBORDEUR SANS FOSSE POUR VOITURES ET WAGONS EN USAGE À LA COMPAGNIE DE PARIS À LYON ET À LA MÉDITERRANÉE.

Dans le numéro de juin 1883 de la *Revue générale des chemins de fer*, j'ai donné la description du chariot transbordeur sans fosse en usage sur le réseau des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

En terminant cette description, je signalais certains points qui appelaient des améliorations dans le but de faciliter l'emploi des chariots construits sur ce type.

Ces améliorations ont été poursuivies depuis cette époque avec succès, et il me paraît à propos d'en donner connaissance, en me bornant à signaler les modifications les plus importantes apportées au type primitif.

La longueur du chariot est restée la même, 6^m80, ce qui permet de recevoir facilement des voitures dont les essieux extrêmes sont distants de 6 mètres, et même, moyennant quelques précautions, des voitures à empatement, de 6^m50.

La disposition du chemin de roulement n'a pas été changée non plus, quoiqu'il laisse quelque peu à désirer, car il conviendrait de lui donner plus de raideur dans le plan vertical. Mais je laisse ce point de côté pour ne parler que du chariot.

La hauteur de la table de roulement au-dessus du rail a été diminuée, et de 146 millimètres ramenée à 93 millimètres pour faciliter l'accès des voitures. Ce résultat a pu être obtenu en plaçant un fer carré sur la cornière qui forme l'armature inférieure des poutres longitudinales.

L'amélioration capitale a consisté à modifier les entretoises qui reportent la charge sur les essieux des roues, ainsi que les boîtes à coussinet dans lesquelles tournent les fusées.

C'est de la rigidité des entretoises que dépend le bon fonctionnement du chariot. Les deux flasques qui les composent ont été renforcées par quatre cornières au lieu de deux ; et en même temps elles ont été écartées l'une de l'autre de 37 centimètres au lieu de 19, de manière à venir reposer sur le milieu de la longueur de la fusée des essieux.

On a donné aux fusées un diamètre de 6 centimètres au lieu de 55 millimètres et une longueur utile de 15 centimètres au lieu de 75 millimètres.

La pression par centimètre carré est ainsi diminuée de plus de moitié, ce qui a réduit considérablement l'usure des fusées. La nouvelle disposition des fusées a permis, en outre, d'y adapter une couronne de huit rouleaux de friction au lieu de six et d'assurer ainsi un meilleur roulement avec un moindre entretien.

Si j'ajoute que le buttoir et l'articulation des aiguilles mobiles aux extrémités du chariot sont d'une seule pièce en acier forgé, j'aurai indiqué les principales améliorations qui ont été introduites dans la construction du chariot et qui ont assuré son succès depuis 1886.

Le poids de ce chariot est de 3,700 kilogrammes.

Voici les résultats donnés aux essais :

Un homme seul suffit à déplacer le chariot à vide sans grand effort.

Avec une charge de 20 tonnes, il faut trois ou quatre hommes de force moyenne pour le faire démarrer et lui imprimer une bonne vitesse de marche.

Des essais directs au dynamomètre ont permis de s'assurer qu'au démarrage à vide, l'effort est de 20 à 40 kilogrammes; et avec charge de 15 tonnes après un certain temps de service, l'effort est de 200 à 250 kilogrammes. En marche, les efforts sont respectivement 20 kilogrammes et 150 à 160 kilogrammes.

On doit estimer qu'en service courant, alors que la voie de roulement peut présenter quelques défauts, il faudra deux hommes pour le déplacer facilement à vide et cinq hommes pour le déplacer avec un chargement de 15 à 20 tonnes.

Lorsque les chariots sont manœuvrés avec des chevaux ou à l'aide d'une traction mécanique, au lieu d'être poussés à bras d'homme, la garniture avec rouleaux de friction peut être remplacée par un coussinet ordinaire en bronze.

Les frais d'entretien sont diminués, mais l'effort au démarrage est plus considérable.

Voici les résultats constatés au dynamomètre lorsque le collier de galets est supprimé.

Les efforts au démarrage sont de 60 kilogrammes à vide et de 400 à 500 kilogrammes avec une charge de 15 tonnes.

En pleine marche, l'effort sous une charge de 15 tonnes est de 300 à 400 kilogrammes, c'est-à-dire qu'il y a, dans tous les cas, une différence du simple au double dans les efforts qu'exige le chariot à rouleaux de friction comparé au chariot avec coussinets ordinaires.

Il importe de remarquer que les nouvelles fusées plus longues et sur lesquelles portent trois rouleaux au lieu de deux, ont donné beaucoup moins d'usure et de frais d'entretien que les fusées plus petites de l'ancien type. Elles paraissent dans la plupart des cas devoir être préférées aux coussinets.

Des essais de métal blanc antifriction ont été faits dans le but de diminuer le frottement dans ces coussinets. Ils n'ont pas donné de bons résultats, sans doute à cause des chocs auxquels, dans la pratique, sont exposés les chariots qui viennent buter contre des arrêts rigides.

Nous comptons faire des essais pour adapter un ressort aux buttoirs en fer en usage jusqu'à présent.

Sous sa forme actuelle, le chariot transbordeur sans fosse constitue un appareil d'usage courant pour le service des gares, où il remplace avec avantage, dans bien des cas, les plaques tournantes, et il est devenu indispensable dans les gares de formation de trains, où l'on a à manœuvrer des voitures dont les essieux extrêmes sont écartés de plus de 4^m50.

Paris, le 28 mai 1889.

DISCUSSION EN SECTIONS



(1^{re} et 3^e SECTIONS RÉUNIES)

—

Séance du 18 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN, PRÉSIDENT DE LA 1^{re} SECTION

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK, SECRÉTAIRE PRINCIPAL DE LA 1^{re} SECTION

RAPPORTEUR : M. BRIÈRE

M. Ludvigh, président de la 3^e section, et **M. d'Esprequelra**, secrétaire principal de la 3^e section, prennent place au bureau.

M. le Président. Je prie M. Brière de nous présenter l'analyse de l'exposé de la question V, qu'il a été chargé de rédiger.

M. Brière. Messieurs, lorsque la question qui nous occupe a été proposée au Congrès à Milan, il a été bien convenu qu'il s'agissait uniquement de l'échange des voitures à voyageurs sur les voies principales, et non pas sur les voies de garage; qu'il ne s'agissait pas, par conséquent, d'appareils desservant des ateliers. Les mots « voies parallèles » auraient dû être complétés par le mot « principales ». Pour les appareils de voies d'ateliers — et il y en a un grand nombre — ils présentent peu d'intérêt et il n'y a pas lieu de les étudier. Aussi ai-je envoyé aux principales Administrations adhérentes au Congrès un questionnaire excluant les renseignements relatifs aux appareils d'ateliers. Néanmoins, comme ma rédaction était probablement insuffisante, j'ai reçu un nombre considérable de réponses et elles ont presque toutes trait aux appareils d'ateliers. Sur la question des chariots, j'ai reçu les dessins de 50 chariots d'ateliers.

Je demande la permission de dire à leurs auteurs que j'ai dû les écarter par la question préalable, non par dédain, — j'ai à peine besoin de le dire, — mais parce qu'ils étaient étrangers à la question.

Ce qu'on a voulu en posant la question V, c'est savoir comment s'opère le passage d'une voiture d'un train dans un autre. Ce qu'on a visé, ce sont les gares de bifurcation dans lesquelles l'on compose et l'on décompose des trains non pas au moyen de wagons qui séjournent dans la gare, mais au moyen de wagons qui passent d'un train à un autre.

Ainsi, à Bâle, il y a un grand nombre de trains qui, arrivés de différentes directions, viennent s'y concentrer et dont les voyageurs se rendent en Italie par le Saint-Gothard. Pour faire ces manœuvres sans déranger les voyageurs, il faut que les voitures puissent passer rapidement d'un train à un autre.

Il ne s'agit donc que de ce genre d'échanges dans la question posée comme elle a été entendue au Congrès de Milan.

Il n'y a que trois manières de procéder : par l'aiguillage, qui fait passer la voiture d'une voie sur une autre ; par la plaque tournante placée sur chacune des deux voies parallèles, ou par le chariot, qui transporte la voiture sans la faire tourner.

Les réponses que j'ai reçues présentent un certain intérêt quant à la question de l'aiguillage. Il est à peu près admis partout, en France, que les échanges de voitures par l'aiguillage ne peuvent s'opérer que lorsque l'on a affaire à un petit trafic, n'exigeant pas de manœuvre rapide. Ce procédé inspire une certaine répugnance. Je suis heureux de constater qu'il n'en est pas de même à l'étranger : il y a un grand nombre de Compagnies qui n'ont pas d'autres moyens d'échange que l'aiguillage et qui s'en déclarent parfaitement satisfaites.

Ce qui prime tout ceci, c'est la question préalable de savoir quel est le matériel dont on se sert. Or, personne n'ignore qu'en ce moment, il y a une tendance à employer un matériel plus lourd avec un écartement d'essieux qui va toujours croissant. Il faut admettre à priori qu'avec un tel matériel, on doit recourir à l'aiguillage, quelque opinion qu'on en ait.

J'insiste sur ce point que, dans les réponses que j'ai reçues, il y en a plusieurs qui émanent de Compagnies employant exclusivement l'aiguillage, bien qu'elles aient un matériel à petit écartement d'essieux.

Il faut laisser de côté celles qui ont le matériel à bogies. Mais celles qui possèdent un petit matériel ont, cependant, dans un grand nombre de cas, pour seul et unique moyen d'échange les aiguillages. Ce sont celles-là qui sont vraiment intéressantes au point de vue dont je parlais tout à l'heure. On peut affirmer que le mode

d'échange par simple aiguillage est un mode pratique qui se prête à des circulations intenses et qui ne présentent, ni pour les Compagnies ni pour les voyageurs, des inconvénients radicaux justifiant les préventions que nous avons en France contre ce mode de procéder.

A propos des aiguillages, j'avais espéré retirer de notre enquête quelques renseignements sur une question quelque peu technique. Il m'avait semblé qu'il y a tant d'intérêt à raccourcir les promenades faites par les wagons, que les Compagnies auraient dû s'ingénier à trouver des combinaisons d'aiguillages très raccourcis. Mon espérance a été déçue : malgré l'indication que j'avais donnée dans mon questionnaire, je n'ai reçu aucune réponse.

Tout le monde a dit : Nous employons les mêmes aiguillages dans les gares que sur les voies principales. Ce n'est pas tout à fait exact. Il y a des Compagnies qui, j'en suis sûr, ont des appareils spéciaux dans les gares et qui m'ont répondu qu'elles n'en avaient pas. Je sais qu'en Angleterre, dans beaucoup de gares, les ingénieurs de la voie se sont efforcés, pour raccourcir les distances, de concentrer les aiguilles et qu'ils y sont arrivés par un procédé très simple, en employant des appareils spéciaux pour chaque cas particulier.

En France, nous sommes le pays de l'uniformité, de la réglementation. Dès que nous avons un type, nous le mettons à toute sauce. En Angleterre, il n'est pas sans exemple de voir des changements de voie dans lesquels les aiguilles chevauchent les unes sur les autres. Quand nous allons dans ce pays, nous sommes surpris de l'audace avec laquelle se font ces combinaisons. Si quelqu'un était désireux d'entrer dans cette voie du raccourcissement des aiguilles, je l'engagerais à s'adresser aux ingénieurs anglais, qui sont très bien outillés.

Je passe au mode d'échange par plaques. On peut dire qu'il remonte à l'origine des chemins de fer. Le matériel était petit; le mode d'échange par plaques a été le premier adopté. Il résulte des renseignements que j'ai reçus que c'est celui qui donne le plus de satisfaction. Tous ceux qui ont des plaques et qui ne sont pas poussés par l'augmentation des dimensions du matériel déclarent qu'ils en sont très contents. C'est un fait acquis. Je ne parle pas davantage de ce système. Nous sommes entre gens du métier; c'est donc inutile. Ceux qui ont les plaques les trouvent bonnes et ne demandent qu'à les conserver. Si on les abandonne, c'est que les dimensions du matériel augmentent. Les plaques primitives avaient 3^m50, 4 mètres et 4^m50. Quand le matériel a augmenté, la question s'est posée de savoir s'il fallait augmenter le diamètre des plaques ou les abandonner. C'est dans cette période qu'un certain nombre de Compagnies se trouvent et c'est en cela que la

question est intéressante. Il résulte de nos renseignements que la lutte a continué dans certaines Compagnies, mais qu'on s'est trouvé arrêté par l'augmentation toujours croissante, et que le plus grand diamètre qui semble pouvoir être admis d'une manière courante est celui de 6^m20. Il semble être un maximum. Jusque-là, les plaques fonctionnent bien; elles ont des poids admissibles et n'exigent pas de trop grands écartements d'entr'axe. Au delà de 6^m20, le diamètre n'est plus pratique.

La plaque étant battue, où en venir? Faut-il lutter, par une sorte de transaction, en recourant au chariot parallèle, qui se prête davantage à l'augmentation de la longueur?

Les opinions sont partagées. Certaines Compagnies sont allées d'emblée aux aiguillages. En général, celles qui avaient un bon chariot le préfèrent encore aux aiguillages. C'est une espèce de mariage avec les plaques. On est habitué aux plaques; on ne veut pas recourir aux aiguillages. Si on avait un bon chariot, on le prendrait; mais y en a-t-il un? Il est permis de se poser cette question. Beaucoup ont essayé les chariots et peu ont réussi. Les très nombreuses réponses que j'ai reçues à ce sujet le prouvent. Tout le monde a dit : De chariots, nous n'en avons point; nous croyons qu'il n'y en a pas de bons.

Vous savez combien cet appareil est difficile à établir, le petit diamètre des galets qu'il faut avoir, et la difficulté des manœuvres. Deux Compagnies seulement ont déclaré qu'elles en avaient un et en étaient satisfaites, c'est la Compagnie du Nord-Français et la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. La Compagnie du Nord-Français a dû reconnaître qu'elle ne possédait encore que quatre exemplaires. La sanction de l'expérience n'est donc pas complète.

Quant à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, elle a étudié d'une manière spéciale cette question des chariots, et elle a réussi. Elle a un chariot qui fonctionne non à quatre ou cinq exemplaires, mais à cinq cents ou six cents exemplaires! Il fonctionne bien. On peut dire qu'on est arrivé, là, à posséder un chariot pratique. Il a été décrit par M. Michel de la manière la plus complète dans la *Revue générale des chemins de fer*. M. Michel a eu la complaisance de me remettre une note qui a été imprimée à la suite de mon exposé, dans laquelle il indique quels sont les derniers perfectionnements apportés à l'appareil. Vous trouverez dans cette note tous les renseignements nécessaires pour vous éclairer, si vous désirez essayer les chariots pouvant porter des voitures de 6^m50 d'écartement d'essieux.

Il y a là une solution qui paraît complète. Il s'agit d'un appareil qui se loge dans l'entrevoie et permet le passage des véhicules, même pour ceux qui ont des

freins un peu bas. C'est un appareil manœuvré à bras ou au moyen d'un cheval. Dans les gares importantes, il est indispensable de manier l'appareil mécaniquement. Ici, la Compagnie du Nord reprend ses avantages. Elle a installé dans la gare de Paris un chariot manœuvré mécaniquement, pouvant porter, je le répète, des voitures de 6^m50 d'écartement d'essieux et qui fonctionne admirablement. Il n'y en a qu'un, mais il fonctionne d'une manière parfaite toute la journée, et la solution est tout à fait satisfaisante. Je crois qu'il est permis de le recommander.

En résumé, il y a trois appareils en présence : les aiguillages, les plaques, le chariot. La position de la question paraît être la suivante : Ceux qui n'ont que les aiguillages s'en déclarent satisfaits et ne demandent pas à changer. Ceux qui ont eu des plaques désireraient bien les garder, mais ils en sont empêchés par l'augmentation de la longueur des voitures : ils luttent jusqu'à 6^m20 ; au delà, ils sont obligés de les abandonner. Ceux qui désirent le chariot ont renoncé à le construire parce qu'ils n'ont pas trouvé la solution. Cette solution semble trouvée cependant jusqu'à la longueur de 6^m50.

Quant aux chariots manœuvrés mécaniquement, le nombre des solutions paraît très variable.

Néanmoins, avant de se décider à adopter le chariot, il faut bien réfléchir que l'augmentation de longueur des voitures n'a pas dit son dernier mot, que le matériel à bogies prend de plus en plus faveur, à tort ou à raison, et que, même en dehors de ce matériel, de nombreuses Compagnies, notamment des Compagnies anglaises, ont des écartements d'essieux de 7^m50 et au delà.

En Suisse, il existe des wagons à deux essieux de 12 mètres de longueur. Dans ces conditions, aucun appareil ne donnera satisfaction, sauf les aiguillages. Il faut donc recommander la prudence avant d'employer le chariot. Il est possible que, dans un certain temps, le chariot devienne un instrument insuffisant et qu'il faille y renoncer également.

M. le Président. Chez nous, nous avons un écartement d'essieux de 11 mètres.

M. Brière. Si l'assemblée le désire, je puis communiquer des renseignements très détaillés que M. A. Sartiaux a bien voulu m'envoyer et que je n'ai pu insérer dans mon rapport parce que je les ai reçus tardivement.

M. le Président. La conclusion à laquelle M. Brière est arrivé résout très bien la question. Je lis à la page 6 des tirés à part du rapport :

- L'état de la question est donc le suivant : Aucune des Compagnies employant

« exclusivement l'aiguillage ne songe à introduire ni les plaques, ni le chariot.
« On en est arrivé à des diamètres de plaques qu'il ne semble plus possible de
« dépasser. Il y a une tendance à substituer le chariot aux plaques, et l'obstacle
« le plus sérieux à cette substitution est la difficulté d'avoir un chariot facilement
« manœuvrable. Le chariot Paris-Lyon-Méditerranée, pour voiture à 6^m50 d'écar-
« tement d'essieux, paraît donner satisfaction. »

M. Contamin (*France*). Je désire expliquer en quelques mots la raison d'être des différences qui existent entre les types des chariots adoptés par les Compagnies de Lyon et du Nord. Elle réside tout entière dans la nature des voitures appelées à être manutentionnées par ces appareils. Au Lyon, on ne transborde ainsi que les voitures de cette Compagnie ou celles provenant d'autres réseaux ne présentant pas de pièces basses entre les roues pouvant rencontrer les galets de ces chariots; tandis qu'au chemin de fer du Nord, où l'on se trouve en présence d'un matériel local et étranger dont toutes les voitures présentent entre les roues des pièces de frein et autres, placées à une très faible distance du rail, on ne pouvait songer à utiliser, pour le transbordement de ces voitures, un type d'appareil dont les roues motrices étaient dans l'intérieur de la voie. Il a fallu les reporter à l'extérieur, et assez loin pour dégager complètement les pièces basses des voitures. La conséquence de cette disposition se traduit évidemment par une augmentation de poids de l'appareil et par une surface occupée en projection, elle-même sensiblement plus considérable.

M. Brière. Je n'ai pas cru devoir entrer dans tous ces détails. Les difficultés de la question sont connues; elles sont nombreuses. La plus grande de toutes est celle que signalait M. Contamin : c'est la difficulté d'avoir des appareils qui soient assez bas pour permettre le montage de la voiture sur le chariot; et cette difficulté augmente à mesure qu'on adapte plus bas aux voitures les appareils de transmission.

Il en est d'autres encore; mais, je le répète, je n'ai pas cru devoir entrer dans tous ces détails.

M. Bachelet (*Italie*). Un seul mot au sujet des difficultés qui obligent à faire la manœuvre par les aiguilles. Ce que disait M. le Rapporteur au sujet de la gare de Bâle se représente également à la gare de Turin : nous avons un express entre Rome et Paris, qui comprend des voitures pour diverses destinations; la décomposition s'en effectue dans la gare de Turin. Or, il se fait que le matériel destiné

à passer d'un train à un autre ne peut être manœuvré au moyen des plaques tournantes; force est donc d'en opérer la manœuvre au moyen des aiguilles.

L'emploi du chariot présenterait aussi des difficultés pour le transport des voitures d'une voie sur une autre; ce procédé entraînerait une grande perte de temps. D'autre part, les nombreux appareils placés sous les voitures, réservoirs à gaz, freins nouveaux, etc., augmentent encore la difficulté de la manœuvre au moyen du chariot et obligent à préférer la manœuvre par l'aiguillage. Seulement, je crois qu'on pourrait la simplifier en raccourcissant les aiguilles, de manière à réduire la distance sur laquelle la manœuvre a lieu et le temps nécessaire pour aller prendre l'aiguille, qui est actuellement beaucoup trop loin.

Nous avons aujourd'hui un service international pour lequel on emploie des voitures dont l'écartement diffère; par conséquent, ce n'est qu'avec l'aiguillage qu'on peut en opérer la manœuvre et tout ce qu'on peut faire, dans la situation actuelle, c'est d'améliorer ce procédé autant que possible.

M. Jules Michel (*France*). Je voudrais donner quelques explications au sujet des difficultés que l'on éprouve dans l'emploi du chariot à niveau. Je ne crois point la question susceptible d'une solution absolue. A mon avis, il faut combiner le chariot et l'aiguillage pour faire un bon service dans tous les cas. Mais sur les réseaux où les services de la traction et de la voie peuvent s'entendre et dans les gares où il n'y a pas d'échange de matériel étranger, le chariot rendra de réels services.

Notre chariot a été emprunté autrefois au type autrichien; nous l'avons pris tel qu'il était alors, avec une longueur de 5 mètres; il pouvait transporter du matériel pesant 4, 5 et 6 tonnes, pas davantage. Quand nous avons voulu nous en servir d'une manière courante, nous nous sommes trouvés en présence de wagons de marchandises ou de messageries, pesant 10, 12 et jusqu'à 15 tonnes. Dans ces conditions, le chariot trop faible ne pouvait pas être utilisé. C'est précisément à ce moment qu'on a commencé à augmenter la dimension des voitures à voyageurs: de 4^m30 on est arrivé jusqu'à 6 mètres entre les essieux extrêmes, de sorte qu'il a fallu donner aux chariots une portée de 6^m80 et les renforcer considérablement. Après une série de tâtonnements, nous avons fait construire des chariots pouvant porter des voitures de 6^m50 d'écartement pesant 20 tonnes, mais à la condition qu'il restât un espace disponible de 27 centimètres de hauteur entre le niveau du rail et le dessous de l'essieu. Toutes les fois que nous nous trouvons en présence d'un matériel ne répondant pas à cette condition, le chariot ne peut pas

servir et il faut recourir à d'autres moyens. Cependant, jusqu'à présent, nous avons pu recevoir le matériel italien, dont l'essieu est encore assez élevé pour permettre de passer sur le chariot.

Aujourd'hui, nous en avons un assez grand nombre en service (environ 300), et, pour donner une preuve des services que nos chariots peuvent rendre et qui sont appréciés par le personnel de l'exploitation, je puis citer ce fait : Il y a dix ans, on se plaignait beaucoup dans la gare de Lyon de l'insuffisance du diamètre des plaques tournantes; quand on a voulu y substituer les chariots, le service de l'exploitation a déclaré qu'il ne s'en servirait pas, à cause des inconvénients qu'on y reconnaissait alors, et, pendant dix ans, nous avons conservé les anciennes plaques tournantes. Depuis quelques mois, la question a été reprise et aujourd'hui on se sert très régulièrement des chariots modifiés suivant notre nouveau type.

A la gare de Paris, il y a deux chariots qui manœuvrent journallement 300 à 400 voitures. Il est bien certain qu'à cette gare, où le nombre des trains de voyageurs est considérable, l'aiguillage ne suffirait pas pour satisfaire aux besoins d'un pareil mouvement.

Si les voitures à voyageurs s'allongent encore, l'aiguillage sera indispensable, mais on fera toujours des wagons à bagages, des fourgons de messageries, qu'il sera possible de faire passer d'une voie à l'autre au moyen du chariot; cet appareil aura donc toujours son utilité.

Un des avantages de notre chariot, c'est la facilité de remisage dans l'intervalle de deux voies. Comme il n'y a rien absolument en dehors des deux rails, il suffit d'un intervalle de 2^m50 pour que le chariot puisse être placé entre deux voies, lorsqu'il n'est pas en service.

Jusqu'à présent, nous nous sommes servis de chevaux pour les manœuvres de ces chariots à la gare de Paris. Nous nous proposons de les faire manœuvrer prochainement par la force hydraulique. Les projets sont prêts et cela n'offrira aucune difficulté. On pourrait également les faire manœuvrer à l'aide d'une machine spéciale comme le chariot de la gare du Nord. Je parlais tout à l'heure de la diversité du matériel des Compagnies. Il y a là une difficulté qu'on ne peut méconnaître. Ainsi nous devons renoncer à l'emploi de nos chariots dans la gare de Genève : nous avons un service commun avec la Suisse-Occidentale et sous ses wagons se trouvent des tiges de freins qui sont trop basses. Or, nous ne pouvons pas demander à une Compagnie voisine de changer son matériel et nous allons être probablement amenés à recourir à un autre type de chariot en usage en Suisse sur le chemin de fer Lausanne-Berne-Lucerne, le chariot Klett.

Ce chariot occupe sur la voie un emplacement plus considérable; il est moins facile à remiser parce qu'il a des galets extérieurs. Sa longueur est de 5^m40; il est en usage depuis quinze à vingt ans et on s'en déclare satisfait. Seulement nous nous proposons de lui donner 7 mètres de longueur au lieu de 5^m40. Dans ces conditions, le matériel des deux Compagnies pourra passer d'une voie à l'autre dans la gare de Genève, mais il sera plus lourd, et d'un maniement moins facile que le nôtre.

M. Meyer (*Suisse*). Si j'avais reçu le questionnaire de M. Brière, je me serais empressé d'y répondre et de fournir les renseignements demandés. Malheureusement, il n'a point passé par mes mains. Sur notre réseau de la Suisse-Occidentale, nous n'avions, à l'origine, que deux moyens de mettre en communication les voitures sur des voies parallèles : c'étaient les plaques tournantes et les aiguilles. La manœuvre du passage des voitures par les aiguilles était spécialement appliquée au matériel trop long pour pouvoir passer sur les plaques tournantes. Un grand nombre de nos gares avaient des batteries de plaques tournantes qui traversaient même les voies principales; elles ne nous ont guère satisfaits.

D'abord, l'usure était très considérable parce que, tous les trains passant sur les plaques, l'appareil était soumis à une dislocation générale nécessitant de fréquentes réparations. Ensuite, le bruit et les secousses causés par le passage des trains sur les plaques étaient très désagréables pour les voyageurs. Enfin, il est résulté de la tendance constante à augmenter l'écartement des essieux, que les plaques primitives sont devenues insuffisantes et que certains véhicules n'y pouvaient plus tourner. Elles avaient généralement de 4 mètres à 4^m50 de diamètre, en dernier lieu 5 mètres, dimension devenant elle-même insuffisante. C'est pourquoi nous avons commencé à appliquer le chariot sans fosse, système Klett, et maintenant toutes nos gares sont pourvues de ces chariots avec une longueur utile de 6 mètres. Toujours pour donner satisfaction à la tendance générale de l'augmentation des essieux, nous allons faire nos nouvelles installations avec des chariots de 7 mètres de longueur utile. Ils nous ont donné jusqu'ici une complète satisfaction. Les appareils que nous avons en service depuis 1870 sont encore en très bon état. Les réparations ont été insignifiantes. Les galets avec rouleaux de friction sont soumis à une usure très peu importante, et la manœuvre des voitures se fait avec la plus grande facilité.

Un des avantages que présente le chariot sur la plaque tournante, c'est que la voie principale n'est pas coupée. La voie transversale du chariot est un peu

surélevée et présente une lacune au passage de la voie principale, qui ne subit aucune interruption. Ce chariot est complètement indépendant de l'écartement des voies, tandis que si l'on veut augmenter le diamètre des plaques, il devient nécessaire d'augmenter l'écartement des voies et de faire pour cela des modifications coûteuses aux gares.

Maintenant, au risque de sortir de la question posée, je dirai quelques mots de notre chariot muni de machines locomotrices. C'est un chariot que nous employons seulement dans le service du triage. C'est exactement le même que celui dont nous usons pour la manœuvre des voitures. Seulement, les entretoises de ce chariot sont fixées, au moyen d'un éclissage spécial, à un second chariot sur lequel est placé un locomoteur à vapeur. Sur ce second chariot se trouve un cabestan avec câble. Quand le chariot stoppe sur une voie transversale, on attache au wagon le câble pour le faire monter sur le chariot au moyen du cabestan actionné par le locomoteur à vapeur. Nous avons par là facilité beaucoup le service du triage. Quand nous avons un wagon à retenir dans une rame, nous faisons passer toute la rame sur le chariot, et nous retenons celui qui doit être transbordé.

Le chariot, desservi par un simple chauffeur coûtant 8 ou 9 francs par jour, dans une gare de triage, remplace complètement, et même au delà, le service d'une locomotive de manœuvre qui coûte 40 francs.

M. Brière a fait allusion à la gare de Bâle, où des échanges de voitures sont très fréquents. J'indiquerai la disposition spéciale des aiguillages de la gare de Bâle, qui est la même que celle d'Olten.

Au milieu de la gare, entre les voies principales sont placés des aiguillages en double bretelle, — c'est l'expression reçue en France. Cette disposition a donné toute satisfaction.

Le service se fait très facilement. Cependant, depuis quelques années, dans la plupart de nos gares suisses, à Lucerne et à Olten, on a recours à une autre disposition qui est l'adoption de l'aiguille anglaise. Elle est appelée, je crois, en France, du nom de cisaille ou traversée-jonction.

M. Brière. J'ai des excuses à faire à M. Meyer. Il n'a pas reçu mon questionnaire et pourtant je le lui ai envoyé. J'en rejette la responsabilité sur la poste française ou sur la poste suisse. J'aurais été bien coupable en ne lui envoyant pas le questionnaire dont il s'agit, d'abord parce que j'ai toujours été bien accueilli sur son réseau, et ensuite parce que cette question se rattachait pour moi à des

souvenirs de jeunesse. Lorsque je suis allé en Suisse pour visiter la gare de Renens, j'ai commencé par voir la gare de Lausanne, qui est à côté. Je me rappelle la stupéfaction que j'y ai éprouvée de ne pas remarquer de plaque tournante.

Le chef de gare m'a dit qu'il n'y en avait qu'une pour retourner quelques trains; j'ai demandé à la voir et on n'a jamais pu la trouver.

Ce que j'ai regardé comme tout à fait remarquable, c'est le chariot transbordeur de Renens, auquel je rends le plus grand hommage, non seulement pour sa construction, mais pour l'habileté merveilleuse avec laquelle les agents de la gare s'en servent.

On en a fait mention dans une note de la *Revue générale des chemins de fer*. Un de nos ingénieurs français y dit : « La gare de Renens est la plus mal outillée, et c'est celle qui fait le service le plus économique. Ce résultat est dû à la manière très habile dont on se sert du chariot transbordeur. »

M. Kossuth (Italie). J'ai aussi, dans la gare centrale de Rome, depuis pas mal d'années, deux chariots transbordeurs à vapeur munis de treuils, et montant les véhicules avec des cordages attachés aux crochets de traction.

Excepté les voitures du type Pullman qui font le service de Rome à Reggio, et le dernier type des voitures de sleeping-car, qui ont un écartement excessif, ces chariots nous font tout notre service de la façon la plus satisfaisante au point de vue de la sûreté et de l'économie.

M. Clerc (France). M. Brière a exprimé le désir de voir raccourcir les aiguillages.

La difficulté n'est pas là. En raccourcissant les aiguillages, on diminue le rayon des courbes. Il s'agit de savoir si les voies sur lesquelles se font les manœuvres sont des voies exclusivement destinées à des manœuvres, où par conséquent ne circulent que des machines de gare à faible écartement, ou si elles doivent en même temps recevoir de grands trains avec des machines à grand écartement. Au chemin de fer de l'Ouest, nous avons résolu depuis longtemps le problème de raccourcir les aiguillages. Dans la disposition normale d'un aiguillage, si l'on veut sortir d'une ligne droite avec une ligne en courbe, généralement on emploie des angles de $5^{\circ}30'$ qui donnent des aiguilles de 5 mètres de longueur. Cette disposition met entre la pointe de l'aiguille et le cœur du croisement une longueur de 30 mètres. Elle correspond à un rayon de 280 mètres. On emploie aussi des angles de $7^{\circ}30'$ qui donnent une longueur de 20 mètres et correspondent à des rayons de 150 mètres.

Les déviations établies avec ces rayons peuvent être employées dans tous les cas, attendu que nous pouvons faire passer à petite vitesse des trains dans des courbes de 150 mètres de rayon, au milieu des gares.

Nous avons employé des angles de 9°30' et même de 11°30' en réduisant la longueur des aiguilles de 5 mètres à 2^m50 ou 3 mètres. L'angle de 9°30' correspond à un rayon de 90 mètres. C'est déjà un peu court, mais enfin, dans l'intérieur des gares, dans les parties où il ne passe pas de trains, c'est admissible. L'angle de 11°30' donne un rayon de 50 mètres. Nous l'avons employé sur un très grand nombre de points avec succès, notamment dans les voies des ports. Nous avons un réseau considérable sur les quais du Havre et de Dieppe, où l'on est gêné par l'espace. Il faut y réduire les manœuvres le plus possible. Nous avons un très grand nombre de voies établies avec les croisements dont je viens de parler.

Je me permettrai de dire un mot de la question des chariots.

La grande difficulté que présente l'étude d'un chariot, c'est celle de faire passer dessus les pièces basses du matériel. Il en résulte que, quand on prend un chariot avec roues intérieures, on ne peut employer que des galets d'un diamètre très faible, et par suite, la traction devient très difficile. Nous avons été conduits, dans les chariots que nous avons étudiés, à placer des roues à l'extérieur, ce qui permet de leur donner un diamètre assez grand. Nous employons ces chariots depuis vingt-cinq ans et nous en sommes très satisfaits. Seulement, ils ne nous paraissent pratiques que pour les voitures vides, les voitures de voyageurs, ou tout au plus les fourgons qui ne sont pas très lourds. Pour les wagons chargés, ces chariots ne nous paraissent pas pratiques, et nous ne les employons nulle part; mais nous avons des chariots à vapeur qui portent leur machine. Pour eux, la question du diamètre des galets a beaucoup moins d'importance. Nous employons ces chariots depuis treize ans. Nous en avons de nombreux exemplaires, et il s'en trouve notamment à la gare des Batignolles à Paris; il y a là plusieurs chariots en service journalier. Nous en avons à la gare de triage d'Achères. C'est un type normal chez nous : nous n'en entendons pas parler; cela veut dire qu'ils font un bon service. (*Applaudissements.*)

M. le Président. Je crois que nous n'avons rien à changer aux conclusions auxquelles M. Brière est arrivé. Nous adopterons donc ces conclusions. (*Marques d'adhésion.*)

M. le général Hutchinson (*Grande-Bretagne*) ⁽¹⁾. M. Brière a fait allusion

⁽¹⁾ Discours traduit de l'anglais en séance par M. SCHÉLIER, secrétaire adjoint de la 1^{re} section.

dans son rapport à ce fait que, en Angleterre, on avait renoncé à avoir des types déterminés d'aiguilles.

Dans les grandes stations d'échange, il n'y a plus de différence entre les aiguilles qui y sont employées et celles qui sont placées en pleine voie. Le système généralement employé est celui des ciseaux ou des bretelles.

Il est possible que les bretelles employées dans les gares soient un peu plus raccourcies et d'un rayon plus faible que celles qui manœuvrent en pleine voie; mais la différence n'est pas grande. L'emploi des plaques et des chariots est presque complètement abandonné en Angleterre. Cela est dû surtout au grand écartement des essieux.

M. Waldmann (*Espagne*). Dans les conclusions de son rapport, M. Brière recommande l'emploi des diagonaux dans les gares; je suis absolument de son avis, mais pour que ces diagonaux soient d'un usage commode et pour que les manœuvres s'exécutent rapidement, ce qui est de toute nécessité pour l'échange des véhicules entre des trains express, il faut que les diagonaux soient aussi courts que possible et, par conséquent, qu'on réduise la longueur des rayons des courbes. Jusqu'à quel minimum peut-on descendre? On nous a cité des courbes, en Angleterre, dont le rayon est de 50 mètres; on pourrait, peut-être, descendre encore au-dessous de ce chiffre qui paraît déjà si bas. Nous avons eu l'occasion, au Nord de l'Espagne, dans des cas urgents, de nous servir de courbes de 30 mètres de rayon. Je vais vous en citer un exemple curieux et, je crois, tout à fait inconnu.

Au mois de février 1888, il est tombé dans les Asturies une quantité de neige considérable; dès que le dégel a commencé, de nombreuses avalanches se sont produites, entraînant tout ce qui se trouvait sur leur passage; l'une d'elles a emporté le viaduc métallique de Mataredonda, qui avait 20 mètres de hauteur et 40 mètres de portée. Ce viaduc franchissait un ravin escarpé situé entre deux tunnels. Il importait de rétablir au plus vite la circulation; or, nous n'avions pas de matériel pour exécuter un passage provisoire; nous avons résolu ce problème de la façon suivante : nous avons tracé entre les deux bouches du tunnel un raccordement qui se collait aux flancs de la montagne et épousait la forme du terrain; ce tracé se composait de deux courbes et d'une contre-courbe. Deux de ces courbes avaient des rayons de 30 mètres. Malgré l'extrême raideur de ces courbes, nous avons pu faire sur cette déviation le service normal des trains jusqu'au moment où le viaduc a été rétabli, c'est-à-dire jusqu'à la fin du mois de juin, soit pendant

trois mois. Tous les trains ont donc circulé sur des courbes de 30 mètres, sans que nous ayons eu le moindre accident. Notre matériel est à essieux parallèles dont l'entr'axe est de 3 mètres et 3^m60. Bien entendu, toutes les précautions étaient prises; la traction, dans cette déviation, était faite par des machines de gare de 2^m70 d'empatement, auxquelles nous avons enlevé le boudin de la roue du milieu. Ces courbes étaient munies de contre-rails du côté intérieur, pour obliger l'essieu à prendre la position radiale; enfin, les attelages étaient rendus aussi lâches que possible. Je ne vous présente pas ce fait comme un procédé fort commode à employer en service courant, mais comme un moyen de rétablir la circulation dans un cas urgent et, surtout, comme un exemple de courbes à très faible rayon ayant parfaitement réussi. Remarquez, en outre, que la voie espagnole a 1^m67 de largeur au lieu de 1^m45, ce qui augmentait encore la difficulté de l'emploi des courbes de 30 mètres.

M. A. Sartiaux (*France*). Il serait utile, je pense, d'introduire un mot ou deux dans les conclusions de M. Brière.

Il y est dit que les Compagnies qui ont adopté l'aiguillage ne songent pas à introduire les plaques et les chariots. Je crois que la réciproque est vraie également.

M. Brière dit aussi qu'il y a une tendance à remplacer les plaques par les chariots. Cela peut être exact, mais il faudrait dire pourquoi. Il faudrait dire que c'est parce que les wagons augmentent de dimensions. Il en est ainsi notamment à certaines gares de Paris. Il faut donc dire qu'on est condamné à remplacer les plaques par les chariots à cause de l'allongement des voitures.

Tout le monde est d'accord; mais les conclusions ne font pas ressortir ces deux points. Il ne faudrait pas qu'on pût supposer qu'on tend à supprimer les plaques parce qu'elles seraient moins commodes. Je me rallie donc aux conclusions proposées, mais avec cet amendement qu'il soit entendu que ce n'est pas à cause du mauvais usage des plaques qu'on tend à les abandonner.

M. Brière. Il n'y a aucune difficulté à dire qu'il y a une tendance à substituer le chariot aux plaques, à cause de l'allongement des voitures.

Je me permettrai cependant de faire une observation grammaticale. Je dis, dans mes conclusions, que les Compagnies employant exclusivement l'aiguillage ne songent pas à y substituer les plaques et les chariots. Et M. Sartiaux demande qu'on ajoute « et réciproquement ».

Ceci serait absolument inexact : il est certain qu'aucune des Compagnies

employant seulement l'aiguillage ne songe à introduire dans son service la plaque ou le chariot; mais quelle serait la réciproque? C'est qu'aucune Compagnie employant la plaque et le chariot ne songe à adopter l'aiguillage.

M. A. Sartiaux. Ce n'est pas du tout ma pensée.

M. Brière. Il y a beaucoup de Compagnies, en Italie surtout, qui emploient encore les deux modes.

M. A. Sartiaux. J'étais tellement respectueux de votre rédaction que je voulais pour ainsi dire n'y rien changer. Je reconnais que l'expression « et réciproquement » n'était pas ici grammaticale.

En proposant à la rédaction une modification si brève, je voulais seulement exprimer ma pensée d'une façon bien précise et témoigner de ma déférence pour mon excellent ami M. Brière. Je m'aperçois que j'ai eu tort. (*Rires.*) En disant : « Les Compagnies employant exclusivement l'aiguille ne songent pas à y substituer les plaques et les chariots », cela laisse supposer que l'aiguillage est tellement supérieur qu'il ne saurait être question d'y substituer la plaque et le chariot. Or, je fais remarquer que si l'aiguillage est supérieur, dans certains cas, à la plaque et au chariot, l'inverse se produit bien souvent et qu'il ne faut pas que la rédaction laisse supposer à ceux qui n'ont pas assisté à nos débats que la section proclame directement ou incidemment la supériorité des aiguillages.

M. M. von Leber (*Autriche*). Il me semble, M. Brière, que la phrase comme vous proposez de la rédiger n'est pas même tout à fait exacte. (*Rires.*) On ne peut pas dire que les Compagnies qui emploient l'aiguille ne songent pas à adopter la plaque et le chariot. Il faudrait distinguer.

Ainsi, là où il y a bifurcation, où il faut couper le train en plusieurs parties, ce n'est que l'aiguillage qui peut être employé. Mais quand, dans une gare terminus, vous avez un wagon à faire passer d'une voie à une autre, vous ne pouvez presque pas recourir à l'aiguillage. Or, il est bien possible que des Compagnies n'employant actuellement que l'aiguillage, songent à introduire la plaque et le chariot dans certaines conditions. Il faut donc que la rédaction soit corrigée pour rendre exactement la pensée qu'on veut exprimer.

M. Brière. Ma pensée — et je crois que c'est la vérité — est celle-ci : d'une manière générale, on peut dire qu'aucune Compagnie ayant exclusivement l'aiguillage ne songe à employer la plaque et le chariot.

Mais je ne dis nullement que telle Compagnie n'ayant actuellement que l'aiguillage ne songe pas à adopter d'autres modes. Il faut se placer à un point de vue général.

M. Bachelet. C'est peut-être un peu absolu.

M. Brière. C'est possible; toutes les atténuations que vous voudrez apporter à ma formule rentreront dans l'ordre d'idées que j'ai voulu exprimer.

M. A. Sartiaux. Est-il bien nécessaire de faire ressortir que les Compagnies qui emploient seulement l'aiguillage ne songent pas à adopter les deux autres moyens?

C'est une simple constatation. Il faudrait dire alors la même chose de celles qui emploient de préférence le chariot et la plaque.

Il est dangereux de constater un fait et de passer les autres sous silence. Cela ferait supposer que l'aiguillage est tellement supérieur au chariot et à la plaque qu'il est en quelque sorte exclusif de ces deux procédés. Les Compagnies qui emploient l'un ou l'autre système ont également raison et on peut dire qu'elles en sont également satisfaites. C'est là une vérité à la Palisse; mais au fond, c'est bien cela.

M. Brière. Il ne faut pas dédaigner la Palisse, c'est le plus grand homme des temps modernes. (*Hilarité générale.*)

M. Mantegazza (Italie). On pourrait dire : « généralement » au lieu de : « aucune des Compagnies ».

M. A. Sartiaux. Il serait plus exact de dire que la plupart des Compagnies emploient les trois procédés et que toutes se déclarent satisfaites de ceux dont elles font usage. En définitive, il faut constater la vérité, c'est-à-dire qu'aucun système ne mérite la faveur des Compagnies à l'exclusion des autres.

M. Brière. Il ressort cependant des réponses que j'ai reçues à la question : « Employez-vous exclusivement l'un ou l'autre des systèmes et songez-vous à abandonner celui que vous employez? », que toutes les Compagnies auxquelles je me suis adressé et qui m'ont déclaré n'avoir ni plaque ni chariot, mais seulement l'aiguillage, ont unanimement ajouté : « et nous nous y tenons ». Cela ne veut pas dire cependant qu'elles prennent l'engagement, devant Dieu et devant les hommes, de ne jamais employer la plaque et le chariot. Mais la même chose ne s'est pas produite de la part des Compagnies qui emploient ces deux derniers procédés. Elles

m'ont répondu : « Nous employons la plaque et le chariot et nous en sommes satisfaites; mais nous voyons venir le moment où nous allons devoir les abandonner, notre service de l'exploitation nous y pousse. »

M. A. Sartiaux. C'est une question d'espèce. Je répète qu'il y a des cas où les aiguillages sont préférables, d'autres où les chariots et mieux encore les plaques sont supérieurs, et d'autres où il faut combiner les deux systèmes; d'autres enfin où l'on se résigne aux aiguillages parce que, pour d'autres motifs que ceux des facilités de service, on a été forcé d'adopter les aiguillages en regrettant les chariots et plus encore les plaques. Il ne faut pas que la rédaction ait l'air de dire ce que M. Brière ne veut certainement pas dire, que l'expérience tend à condamner les chariots et les plaques au profit de l'aiguillage.

Je le répète, c'est une question d'espèce. Si j'ai bien compris la discussion, nous sommes d'accord là-dessus et mon observation ne s'applique qu'à la forme de la rédaction.

M. Brière. Voici la rédaction que M. le Président propose :

« L'emploi des aiguilles ainsi que des plaques et des chariots peut donner, dans les différentes circonstances, des résultats satisfaisants. Cependant, les Compagnies employant exclusivement l'aiguillage ne songent à y substituer ni les plaques, ni les chariots ». (*Marques d'adhésion.*) Tout le monde est d'accord. (*Oui, oui!*) Cette rédaction est donc adoptée.

— La séance est levée à 11 heures 15.

Séance du 20 septembre 1889

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN, PRÉSIDENT DE LA 1^{re} SECTION

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK, SECRÉTAIRE PRINCIPAL DE LA 1^{re} SECTION

RAPPORTEUR : M. BRIÈRE

M. Ludvigh, président de la 3^e section, et **M. d'Espregueira**, secrétaire principal de la 1^{re} section, prennent place au bureau.

M. le Président. La parole est à M. Perk, pour communiquer aux sections réunies le rapport résumant la discussion de la V^e question.

M. Perk. « M. Brière a donné un exposé de la V^e question dans lequel il a examiné successivement les aiguillages, les plaques et les chariots manœuvrés à bras d'homme, par des chevaux et mécaniquement.

« Les sections avaient en outre une note de M. Jules Michel sur le chariot transbordeur sans fosse de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

« Dans son explication verbale, M. Brière a fait connaître que la Commission internationale, en posant la question, n'avait eu en vue que l'échange rapide des voitures entre deux voies principales.

« Les sections ont reçu, dans les discussions, des communications concernant la différence entre les chariots en usage aux Compagnies du Nord et de Paris à Lyon et à la Méditerranée, des chariots Klett employés en Suisse, sur la disposition des aiguillages en Angleterre, à la Compagnie de l'Ouest et en Espagne.

« Les sections ont été d'accord sur la conclusion suivante :

« L'emploi des aiguilles, ainsi que des plaques et des chariots, peut donner, dans les différentes circonstances, des résultats satisfaisants.

« Cependant, les Compagnies employant exclusivement l'aiguillage ne songent pas à y substituer les plaques et les chariots. Par suite de l'allongement des voitures, il y a tendance à substituer le chariot aux plaques, et l'obstacle le plus sérieux à cette substitution est la difficulté d'avoir un chariot facilement manœuvrable. Le chariot du Paris-Lyon-Méditerranée, pour voitures à 6^m50 d'écartement d'essieux, paraît donner satisfaction. »

M. Hohenegger (*Autriche*). On parle du chariot du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Le chariot pouvait être recommandé autrefois pour le matériel qui existait alors, mais aujourd'hui, il y a tant de voitures, spécialement de l'Allemagne, avec toute espèce d'engins placés sous la caisse, qu'il ne peut convenir à toutes les Compagnies, et notamment à celles qui ont à desservir les grandes lignes internationales avec des trains composés de voitures de différentes Administrations, parce que le profil du chariot Paris-Lyon-Méditerranée (c'est-à-dire l'ancien chariot de la Sudbahn autrichienne) ne permet pas l'ascension de la plupart de ces wagons.

M. Ludvig. Les conclusions disent simplement que le chariot du Paris-Lyon-Méditerranée paraît donner satisfaction.

M. Hohenegger. Ces mots suffisent pour engager à propager ce modèle de chariot. Il est très bon, mais pas pour toutes les voitures.

M. le Président. On pourrait dire que le chariot du Paris-Lyon-Méditerranée paraît donner satisfaction, étant donné le matériel de la Compagnie qui l'emploie.

M. Clerc. A l'Ouest français, nous ne pourrions l'employer.

M. Hohenegger. Je propose de supprimer la phrase relative au chariot du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

M. Ludvigh. Je crois que vous n'avez pas tort. Que s'est-il passé? Nous avons entendu une simple déclaration qui a été faite de la part d'un délégué de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, que nous avons cru sur parole. Mais puisque les conclusions semblent engager le Congrès, surtout lorsqu'elles auront été ratifiées par l'assemblée générale, il serait peut-être plus prudent et plus rationnel de ne pas se prononcer sur la valeur d'un chariot que la plupart des membres n'ont pas vu et dont nous ignorons le fonctionnement. Mon observation se justifie peut-être d'autant mieux que différents systèmes de chariots sont en application et que plusieurs donnent satisfaction aux Compagnies qui les emploient.

M. Brière. Je n'ai pas eu la prétention de recommander exclusivement le chariot du Paris-Lyon-Méditerranée. Telle n'a pas été ma pensée. J'ai simplement voulu dire que, parmi les Compagnies qui étudient le chariot, aucune n'en a trouvé un dont elle se déclare elle-même absolument satisfaite, pour les conditions dont nous parlions : échange des voitures entre deux voies parallèles. Aucune Compagnie n'a un chariot qu'elle applique en grand. La Compagnie du Nord a dit qu'elle en avait un dont elle était contente, mais elle n'en a que quatre exemplaires! Il n'y a qu'une Compagnie qui ait pu dire qu'elle avait un chariot qui lui donnait toute satisfaction : c'est la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Je n'ai pas prétendu que son chariot fût bon pour la Sudbahn. Elle a dit : « J'en suis contente », les autres ont répondu : « J'essaye, je n'ai pas encore trouvé ».

M. Scander Bey Fahmy (Égypte). On dit, dans les conclusions, que les Compagnies qui emploient l'aiguillage ne songent pas à y substituer les chariots.

En Égypte, nous n'avons pas de chariot. Les manœuvres se font au moyen d'aiguilles et de plaques tournantes. Ce système donne lieu à des difficultés, et

nous croyons qu'il sera avantageusement remplacé par les chariots que nous allons adopter.

M. le Président. La conclusion sera un peu changée.

M. Perk. Nous dirons si vous voulez : « Toutefois, le chariot du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, pour voiture à 6^m50 d'écartement d'essieux, paraît donner satisfaction à la Compagnie qui l'emploie. »

M. le Président. On ne peut dire le contraire de cela, puisque la Compagnie a déclaré qu'elle était satisfaite de son chariot. Nous sommes donc d'accord. (*Adhésion.*)

— Les conclusions sont adoptées avec le changement de rédaction proposé par M. Perk.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 21 septembre 1889

PRÉSIDENTE DE M. A. PICARD

M. Brière donne lecture du rapport des 1^{re} et 3^e sections réunies (voir ci-dessus le compte rendu de la séance de ces sections du 20 septembre) et des conclusions suivantes présentées à l'assemblée :

“ L'emploi des aiguilles, ainsi que des plaques et des chariots, peut donner, dans les différentes circonstances, des résultats satisfaisants.

“ Cependant, les Compagnies employant exclusivement l'aiguillage ne songent pas à y substituer les plaques et les chariots. Par suite de l'allongement des voitures, il y a une tendance à substituer le chariot aux plaques et l'obstacle le plus sérieux à cette substitution est la difficulté d'avoir un chariot facilement manœuvrable. Toutefois, le chariot du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, pour voiture à 6^m50 d'écartement d'essieux, paraît donner satisfaction à la Compagnie qui l'emploie. ”

— Ces conclusions sont adoptées.

QUESTION VI

VENTILATION DES GRANDS TUNNELS

Conditions pour une bonne ventilation naturelle.

Ventilation artificielle (moyens pour l'obtenir; dépenses qu'elle occasionne).

Ventilation complète du tunnel. Ventilation partielle des chambres de sûreté et des niches. Appareils mobiles pour fournir de l'air au personnel des trains et de la voie.

QUESTION VI

— — — — —

TABLE DES MATIÈRES

— — x — —

| | Pages. |
|---|----------------|
| Exposé par M. CANDELLERO | VI — 3 |
| Note par l'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GOTHARD (pl. VII et VIII) | VI — 55 |
| Discussion en sections | VI — 61 |
| — en séance plénière et conclusions | VI — 80 |

EXPOSÉ

Par C. CANDELLERO

INGÉNIEUR, CHEF DE SECTION AU SERVICE DE L'ENTRETIEN DE LA SOCIÉTÉ ITALIENNE DES CHEMINS DE FER
DE LA MÉDITERRANÉE

I

Ventilation naturelle.

Le problème d'engendrer une bonne ventilation *naturelle* dans les grands tunnels de chemins de fer qui ne communiquent avec l'extérieur que par les deux extrémités et qui sont dépourvus par conséquent de toute sorte de fenêtres, puits ou cheminées, — ventilation qui soit constante, ou qui au moins ne soit pas assujettie à des interruptions et à des dérangements trop longs et trop fréquents, — ce problème, disons-nous, ne pourra peut-être jamais dans certains cas être résolu d'une manière satisfaisante. En effet, quelques-uns des agents physiques, qui ont une influence essentielle sur l'aération, qui, peut-on même dire, la maîtrisent d'une manière absolue, exercent leur action sous des formes très variables et n'obéissent à aucune loi connue et, par suite, ne peuvent être ni maîtrisés ni corrigés pour en obtenir des effets constants et utiles à l'aération.

Pour se former une idée exacte et complète du phénomène de la ventilation naturelle dans un souterrain de chemin de fer, et pour faire ressortir la vérité de la proposition que nous venons d'exposer, et qui peut, au premier abord,

paraître paradoxale, il est nécessaire de déterminer, d'après les théorèmes de la dynamique des gaz, l'équation du mouvement de la colonne d'air qui parcourt le tunnel. C'est seulement en étudiant cette équation qu'il sera possible d'arriver à des conclusions irréfutables sur une question au sujet de laquelle on n'a pas encore généralement des idées bien nettes.

Représentons par la figure 1 la coupe longitudinale d'un grand tunnel traversant une chaîne de montagnes et ne communiquant avec l'extérieur que par les deux embouchures. Supposons, comme il arrive généralement, que le tunnel soit formé par deux branches en rampe vers le point intermédiaire C, et que les deux têtes A et B se trouvent à des altitudes différentes au-dessus du niveau de la mer. Supposons encore que la colonne d'air, dont, en général, la température moyenne sera différente de la température extérieure, soit en mouvement dans un certain sens, et voyons ce qui arrive lorsque toute la masse d'air se déplace d'une quantité infinitésimale dL .

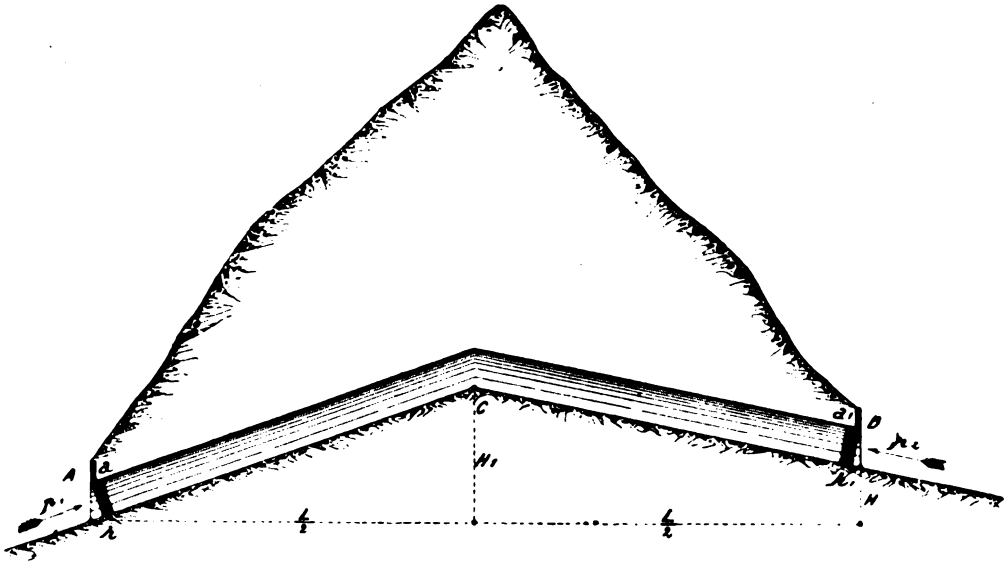


Fig. 1. — Coupe longitudinale schématique d'un tunnel sous une montagne.

Le théorème des forces vives, ou de l'énergie cinétique, comme on l'appelle à présent, nous apprend que la somme algébrique des travaux, qui se développent dans le déplacement considéré, est égale à la moitié de la variation survenue dans la force vive de la masse.

Force vive. — La variation de force vive survenue dans la masse entière d'air du tunnel, masse qui est une quantité finie, pendant le déplacement infinitésimal, est évidemment égale à celle qui surviendrait dans une masse infinitésimale ab en parcourant un trajet fini égal à toute la longueur du tunnel. Si, par conséquent, nous représentons par $d\pi$ le poids de la petite couche d'air ab , par u_1 et u_2 les vitesses que l'air atteindra dans la section d'origine ab et dans la section finale $a_1 b_1$, la perte ou le gain de force vive sera :

$$\frac{d\pi}{g} (u_2^2 - u_1^2).$$

Forces. — Les forces qui agissent sur la masse d'air sont au nombre de trois :

- 1° Les pressions atmosphériques p_1 et p_2 sur les sections extrêmes du tunnel ;
- 2° La gravité, c'est-à-dire le poids de la colonne d'air occupant le souterrain ;
- 3° Les résistances passives qui, pour nous, se réduisent au frottement de l'air contre les parois du tunnel.

Travail des pressions. — Si Ω est l'aire de la section du souterrain, dL le déplacement infinitésimal de la colonne d'air, $p_1 \Omega dL$ sera le travail de p_1 , mais ΩdL , volume de la couche ab , peut être représenté par $\nu d\pi$, si ν est le volume spécifique de l'air du tunnel, savoir le volume d'un kilogramme de cet air, et $d\pi$ le poids de la couche ab . De cette manière, le travail de p_1 , pendant le déplacement infinitésimal que nous considérons, sera $\nu \cdot d\pi \cdot p_1$; et de même celui de p_2 vaudra : — $\nu \cdot d\pi \cdot p_2$. Le travail des pressions extrêmes sera donc : $\nu \cdot d\pi \cdot (p_1 - p_2)$.

Travail de la gravité. — C'est le travail du poids $d\pi$ de la couche d'air ab qui de l'extrémité inférieure A monte jusqu'à l'extrémité supérieure B, c'est-à-dire : — $d\pi \cdot H$.

Travail du frottement. — Il est proportionnel directement au carré de la vitesse de régime u , à la longueur L du souterrain, et inversement au diamètre moyen D de la section droite. Son expression pour chaque kilogramme d'air sera : — $k \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g}$; et pour le poids $d\pi$: — $k \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} d\pi$. Dans cette expression $D = \frac{4s}{p}$, s et p étant l'aire et le périmètre de la section droite du tunnel.

En appliquant alors le théorème des forces vives, on obtiendra l'équation du mouvement de l'air dans le souterrain :

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} = v(p_1 - p_2) - H - k \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g}$$

Or, pour les cas dont nous nous occupons, u_1 , vitesse de l'air immédiatement en amont de la section d'origine, c'est-à-dire hors du tunnel, peut être considérée comme nulle, vu que le réservoir d'alimentation de notre conduite a des dimensions illimitées; et u_2 , vitesse immédiatement en amont de la section de sortie, sera égale à la vitesse de régime u . L'équation devient donc :

$$\frac{u^2}{2g} \left(1 + k \frac{L}{D} \right) = v(p_1 - p_2) - H. \dots\dots\dots [1]$$

C'est l'équation dont nous avons besoin.

Dans cette formule, p_1 et p_2 représentent les pressions atmosphériques aux extrémités, pressions dont les valeurs données par le baromètre varient, comme nous savons, dans les mêmes plans de niveau, avec le temps, et à la suite des perturbations météorologiques, sans pourtant obéir à aucune loi connue. Supposons pour un instant que ces valeurs soient exactement en relation avec les altitudes des points A et B, c'est-à-dire que sur les deux versants de la montagne il n'y ait aucun dérangement dans les conditions barométriques de l'air. Alors $p_1 - p_2$ sera le poids d'une colonne d'air extérieur de 1 mètre de base, et de H mètres de hauteur, c'est-à-dire le poids de H mètres cubes d'air extérieur, qu'on pourra représenter par $\frac{H}{v_0}$, si v_0 est le volume spécifique de l'air extérieur, savoir le volume d'un kilogramme d'air extérieur. Nous aurons donc :

$$v(p_1 - p_2) = H \frac{v}{v_0}.$$

Si maintenant nous représentons par θ et T les températures *absolues* moyennes de l'air à l'intérieur et à l'extérieur, nous savons que l'on a $\frac{v}{v_0} = \frac{\theta}{T}$, d'où :

$$v(p_1 - p_2) = H \frac{\theta}{T}.$$

Et alors, en substituant dans la formule [1], on obtiendra :

$$u = \sqrt{2gH \frac{\frac{\theta}{T} - 1}{1 + k \frac{L}{D}}}$$

qui donne la vitesse de régime de la colonne d'air dans le tunnel dans l'hypothèse, que nous avons posée, que les pressions indiquées par le baromètre aux

embouchures soient exactement les pressions qui correspondent aux altitudes des embouchures mêmes.

Cette formule qui, en somme, est celle qui sert pour les cheminées, nous apprend qu'un tunnel se comporte exactement comme une cheminée. Par conséquent, la vitesse de régime de l'air, c'est-à-dire la ventilation naturelle, aura une activité d'autant plus grande que la différence de niveau H entre les embouchures sera plus grande, et que la différence entre la température moyenne de l'air intérieur θ et la température extérieure T sera plus considérable : l'aération même sera nulle pour $H=0$, c'est-à-dire dans un tunnel horizontal, quelle que soit d'ailleurs la valeur de $\frac{\theta}{T}$, et nulle encore pour $\frac{\theta}{T} = 1$, quelle que soit H .

Les deux conditions de différence de niveau et de différence de température doivent donc coexister pour qu'il puisse s'engendrer un régime quelconque de ventilation naturelle.

Or, dans un grand tunnel qui traverse une chaîne de montagnes, il y a deux causes qui concourent à faire $\theta - T$ différent de zéro : la première, qui est permanente, consiste dans ce fait physique constant, que la température des couches de la montagne, et, par conséquent, la température de l'air, qui vient à se trouver en contact avec les couches, croît, à partir d'un certain point, au fur et à mesure que les couches elles-mêmes s'éloignent de la surface libre du versant ; la seconde, qui est accidentelle, réside dans la quantité de chaleur que, à chaque passage de train, les produits de la combustion déversent dans l'atmosphère de la galerie. De cette manière, en général, dans un souterrain quelconque, ayant une longueur suffisante, la première des conditions indispensables pour engendrer le tirage se vérifie toujours avec une intensité plus ou moins grande.

Quant à la seconde condition, savoir la différence de niveau entre les débouchés, il faudra qu'on se l'impose à priori lorsqu'on étudie le projet, en tâchant de l'obtenir de la meilleure manière possible. On ne pourra y satisfaire que dans certaines limites naturellement très restreintes, soit parce que les conditions altimétriques des voies d'accès imposeront en général l'altitude à donner aux têtes, soit parce que la différence de niveau des extrémités devra être distribuée sur une moitié seulement de la longueur du tunnel, le souterrain devant, pour satisfaire aux exigences de la perforation, être formé de deux tronçons en rampe vers un point culminant central ; soit enfin parce que la pente maxima à donner au tronçon aboutissant à l'extrémité moins élevée, ne doit pas aller au delà d'une

certaine limite, en relation avec le système de traction adopté pour l'exploitation.

Toutefois, même dans les limites restreintes indiquées ci-dessus, il ne sera, en général, pas impossible d'obtenir entre les têtes une différence qui donne lieu à la création d'un courant d'intensité suffisante.

Il apparaît encore, d'après l'examen de la formule qui donne la vitesse de régime, que lorsqu'on a fixé l'altitude des deux embouchures, les conditions d'aération du tunnel sont de même tout à fait fixées, et qu'elles restent par conséquent invariables, quel que soit d'ailleurs le profil vertical variant d'une extrémité à l'autre. Ces différences de profil, dans les limites très restreintes dans lesquelles il est possible de les faire osciller, n'ont pour effet que de faire varier de quantités très petites la longueur totale du tunnel; et par suite, elles n'ont qu'une influence minima sur le terme qui représente la résistance de frottement, $k \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g}$. Leur effet sur la vitesse de la colonne d'air est donc négligeable.

Il est très important que ce point soit bien éclairci et fixé de manière à éloigner toute sorte d'incertitude et de doute à ce sujet, parce que quelques ingénieurs, qui se sont occupés autrefois de la ventilation des grands tunnels, en s'appuyant sur des considérations inexactes de thermodynamique, ont voulu prouver, à propos du Fréjus, que le profil altimétrique de ce souterrain, tel qu'il est, *est très défavorable pour une bonne ventilation spontanée*, et que, au contraire, il aurait été possible, sans varier la position des têtes, d'en tracer un autre qui aurait notablement amélioré les conditions de l'aération.

Cette opinion, d'après ce que nous venons de prouver, théorie en main, est tout à fait erronée. Les conditions d'aération du Fréjus, bonnes ou mauvaises, ont été fixées invariablement le jour où l'on fixa l'altitude des extrémités. Ensuite, aucune forme de tracé intermédiaire n'aurait pu apporter de variations appréciables.

En revenant donc à ce qui nous est appris par la formule du mouvement de l'air dans les tunnels, nous arrivons forcément à cette conclusion que — les pressions barométriques p_1 et p_2 étant exactement, comme nous l'avons supposé au commencement, celles qui correspondent aux niveaux des deux têtes, et la température moyenne intérieure étant toujours, dans les grands tunnels, supérieure aux températures extérieures — la condition nécessaire et suffisante, pour avoir une ventilation dirigée constamment dans le même sens, ce serait que les deux têtes ne fussent pas au même niveau. S'il en est ainsi, la ventilation sera d'autant plus active que la différence de niveau sera plus grande.

Mais cette condition de normalité parfaite dans les valeurs de p_1 et p_2 n'est à peu près qu'une abstraction théorique, qui ne se vérifie que très rarement. Il arrive au contraire, surtout dans les montagnes, que les perturbations barométriques sont très fréquentes, c'est-à-dire que la pression atmosphérique dans un certain plan de niveau est supérieure ou inférieure — et même de beaucoup — à celle qui devrait résulter de la hauteur du plan considéré au-dessus du niveau de la mer.

Alors le régime naturel d'aération que nous venons de décrire — régime que l'on peut appeler thermique comme étant engendré par les différences de température, et qui aurait pour effet d'engendrer et de maintenir une ventilation plus ou moins active de l'extrémité plus basse à celle plus élevée — peut être complètement troublé.

Pour se former une idée, aussi exacte que possible, de l'influence que les dérangements barométriques de l'atmosphère peuvent exercer sur l'aération des grands tunnels, lorsque ces dérangements sont discordants en intensité et en sens sur les deux versants de la montagne dans les plans de niveau des débouchés, il sera utile de revenir à l'examen de l'équation [1].

Cet examen nous dit que la vitesse u aura une valeur réelle, c'est-à-dire qu'il y aura aération, toutes les fois que $v(p_1 - p_2)$ sera différent ⁽¹⁾ de H , et que u sera nul pour $v(p_1 - p_2) = H$.

Or, $p_1 - p_2$, comme nous avons déjà dit, est le poids d'une colonne d'air extérieur de hauteur H , de section égale à 1 mètre carré ; donc, c'est le poids de H mètres cubes d'air extérieur lorsque, naturellement, p_1 et p_2 ont des valeurs en relation avec les altitudes considérées. Cesera donc $p_1 - p_2 = \frac{H}{v_0}$, si v_0 est le volume d'un kilogramme d'air extérieur. Supposons maintenant qu'il se produise un dérangement barométrique — dérangement qui peut annuler le courant thermique — et que l'équation [1] nous dit se vérifier lorsqu'on a $v(p_1 - p_2) = H$, c'est-à-dire lorsque la différence $p_1 - p_2$ des pressions extrêmes descend de sa valeur normale $\frac{H}{v_0}$ jusqu'à $\frac{H}{v}$, qui est le poids d'une colonne d'air intérieur de hauteur H . La variation de la valeur de $p_1 - p_2$ sera donc $\frac{H}{v_0} - \frac{H}{v}$, savoir : $H \left(\frac{v}{v_0} - 1 \right)$, qui peut être exprimé par $H \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right)$, si l'on tient

(1) La vitesse u aura une valeur réelle même si $v(p_1 - p_2) < H$, parce qu'alors le poids spécifique de l'air intérieur sera plus grand que celui de l'air extérieur, et dans ces conditions le mouvement, au lieu d'être ascensionnel, comme nous avons supposé, sera en descente, et alors H doit être considéré comme négatif.

compte que les volumes spécifiques v et v_0 sont proportionnels aux températures absolues θ et T , intérieure et extérieure au tunnel.

Considérons maintenant, par exemple, un souterrain qui se trouve dans des conditions très favorables pour une ventilation thermique naturelle. Supposons $H = 150$ mètres, $H = 273 + 20$, $T = 273$. On aura :

$$H \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right) = 10^m 95$$

Ce qui veut dire qu'il suffit d'une perturbation de pression mesurée par une colonne de 11 mètres d'air, d'où à peu près 1 millimètre de mercure, pour arrêter complètement l'aération naturelle. Ce fait peut se produire, soit par une diminution de 1 millimètre de mercure dans la valeur de p_1 , celle de p_2 à l'extrémité supérieure restant constante, soit par une augmentation de la même importance dans la valeur de p_2 , p_1 se maintenant invariable, soit par deux variations en sens contraire, de 1/2 millimètre chacune dans les valeurs de p_1 et de p_2 .

Naturellement, tandis que les oscillations que nous venons de considérer et qui ont pour effet de diminuer, en la faisant descendre au-dessous de $\frac{H}{v_0}$, la valeur de $p_1 - p_2$, font obstacle, annulent ou même renversent le courant thermique naturel, le contraire arrivera également, c'est-à-dire qu'il y aura augmentation dans l'aération spontanée, par suite des oscillations en sens inverse qui ont pour effet une augmentation de la différence $p_1 - p_2$, au-dessus de la valeur $\frac{H}{u_0}$.

Par conséquent, l'on doit conclure que dans un souterrain dont le tracé altimétrique est à même d'engendrer, à conditions normales, une aération thermique spontanée, lorsque ces conditions normales cessent et qu'il se produit des perturbations barométriques dans l'atmosphère aux niveaux des embouchures, ces perturbations, selon le sens dans lequel elles sont dirigées, ont pour effet de favoriser ou de combattre le courant préexistant en le maîtrisant de la manière la plus absolue.

Or, si l'on tient compte que, comme nous venons de voir, pour annuler complètement un assez fort courant naturel, il peut suffire d'une oscillation mesurée par 1 millimètre de mercure, et si l'on réfléchit que les oscillations ordinaires qui peuvent se produire tous les jours, et même plus d'une fois dans une même journée, sont presque toujours supérieures, et parfois de beaucoup, à 1 milli-

mètre, surtout dans les montagnes, où précisément se trouvent les grands tunnels, et que, en outre, il n'y a aucune raison pour que ces oscillations soient harmoniques sur les deux versants de la chaîne de montagnes, mais que, au contraire, il existe en général entre elles une indépendance complète, au moins relativement au temps, il s'ensuit tout naturellement comme conclusion l'entière confirmation de la proposition que nous avons posée dès le commencement, à savoir qu'il n'existe pour les grands tunnels des chemins de fer aucun tracé altimétrique — possible relativement aux exigences de la perforation et de l'exploitation — qui puisse garantir constamment une bonne ventilation naturelle : que cette ventilation, au contraire, sera toujours de la manière la plus absolue sous la domination des perturbations météorologiques qui se produisent aux débouchés, perturbations qui, par effet de la grande distance et de la différente exposition des débouchés mêmes sur les deux versants de la montagne, ne sont assujetties à aucune loi d'uniformité et de synchronisme.

Cela est précisément ce que l'expérience de presque dix-huit ans prouve qu'il arrive dans le grand tunnel du Fréjus, quoique les conditions altimétriques dans ce tunnel soient certainement ce qu'on a pu faire de mieux pour engendrer et maintenir une aération thermique naturelle constante.

Dans ce tunnel, lorsque les conditions atmosphériques sont normales, l'on doit avoir, et l'on a en effet, un bon courant, dirigé de l'extrémité de Modane, qui est la plus basse, à l'extrémité de Bardonnèche, courant qui, s'il persistait toujours, serait à même de maintenir, au moins dans la saison d'hiver, le tunnel dans de bonnes conditions d'aération, malgré la quantité de fumée donnée par les locomotives ; cette quantité est énorme, car le tronçon du côté de Modane est en rampe de 27 et 23 p. m. sur une longueur de 8 kilomètres (y compris le souterrain de raccordement), et le nombre des trains, dont plusieurs avec deux machines, est de 30 en moyenne pendant les vingt-quatre heures de la journée.

Mais il est très fréquemment fait obstacle à ce courant par les perturbations barométriques, lesquelles, dans des circonstances spéciales, heureusement fort rares, ont donné lieu à des accidents graves d'asphyxie aux agents de la voie et même au personnel des trains. Ce fut surtout dans les années 1880-1881 que ces accidents prirent des proportions alarmantes. On était alors en train de construire dans le grand tunnel, à 1 kilomètre à peu près de distance de la tête nord, une chambre de bifurcation pour un nouveau souterrain de raccordement, ce qui avait obligé à réduire le mouvement des trains sur une voie seule, et à

La température absolue moyenne intérieure θ , d'après ce que nous venons de dire, sera

$$\text{En hiver } \theta = 273 + \frac{1}{2}(-18 + 22) = 275$$

$$\text{En été } \theta = 273 + \frac{1}{2}(-20 + 24) = 295$$

La température absolue extérieure T sera

$$\text{En hiver } T = 273 - 18 = 255$$

$$\text{En été } T = 273 + 20 = 293$$

Pour le coefficient de frottement k , comme il s'agit d'un conduit de très grande section ayant des parois humides et glissantes, on pourra fixer, d'après Morin et Weisbach, sa valeur à 0.020.

Le diamètre moyen D de la section droite du tunnel vaut $4 \frac{s}{p}$, s , la surface, étant égal à $m^2 41$, et p , le périmètre, à 24.50. On aura donc $D = 6.70$.

En substituant, nous aurons :

Dans les plus grands froids, $u = 2.33$.

Dans les plus grandes chaleurs, $u = 0.68$.

Par conséquent, au Fréjus, si l'on n'avait jamais de perturbations barométriques sur les deux versants, il existerait toujours dans le tunnel un courant naturel ayant une vitesse variant entre un maximum de 2^m33 et un minimum de 0^m68 par seconde; ce qui veut dire que le renouvellement complet de la colonne d'air devrait se faire dans une période de temps variant entre 1 heure 44 minutes et 5 heures.

Il est utile de remarquer immédiatement que le régime d'aération dans le tunnel sera, en réalité, un peu meilleur qu'il ne devrait s'ensuivre des chiffres que nous venons d'obtenir, au moins en été, qui est la saison critique. Nous avons supposé, en effet, que le thermomètre monte à l'extérieur jusqu'au maximum de 20 degrés; or, si cela est possible pour les heures les plus chaudes de la journée, ce ne le sera certainement pas pour les autres, et encore moins pour celles de la nuit. Ce qui fait que la moyenne, même pour les journées plus chaudes, est bien inférieure à 20 degrés. Ces circonstances auront pour effet d'accroître la vitesse moyenne minima de 0.68.

Maintenant, il faut voir si les périodes de renouvellement complet, que nous venons de trouver, sont suffisantes pour maintenir toujours l'atmosphère du tunnel dans de bonnes conditions de respirabilité.

Dans ce but, considérons le souterrain rectiligne compris entre les embouchures préparatoires, en négligeant les tronçons de raccordement, qui n'ont pas d'influence appréciable sur le régime général d'aération.

Le profil altimétrique pourrait encore être représenté par la figure schématique déjà considérée (fig. 1), dans laquelle l'extrémité la plus basse A serait la tête nord de Modane, sur le versant français, l'extrémité B la tête sud de Bardonnèche, sur le versant italien, et les différentes cotes :

$$L = 12240. \quad H = 139. \quad H_1 = 133.$$

Les observations thermométriques, qu'on a toujours faites dans l'intérieur du tunnel, nous apprennent que la température de la colonne d'air au point culminant du milieu C peut être considérée comme constante, puisqu'elle ne varie qu'entre un minimum de $+ 22$ degrés centigrades en hiver et un maximum de $+ 24$ en été. Au contraire, les températures extérieures, aux débouchés, oscillent entre des limites bien plus éloignées, c'est-à-dire entre $- 18$ degrés et $+ 20$; et ces oscillations sont presque égales et synchrones sur les deux versants, de manière que l'on peut dire que la température est la même aux deux têtes dans le même instant.

On déduit encore de l'inspection des thermomètres distribués tout le long du tunnel dans les chambres de refuge que la température de l'air croît, dans toutes les saisons, suivant une fonction linéaire depuis un minimum aux têtes jusqu'à un maximum au point culminant, de manière que la température, en un point quelconque, est toujours proportionnelle à la distance de ce point à l'embouchure la plus rapprochée.

Il s'ensuit donc que la température moyenne à l'intérieur peut, dans chaque instant, être évaluée comme égale à la moyenne entre la température extérieure et la température du milieu.

Nous considérerons les cas extrêmes de la plus grande chaleur en été, et du plus grand froid en hiver, et nous en déduirons les vitesses de régime correspondantes : on aura ainsi les limites entre lesquelles peut varier l'aération thermique naturelle.

Revenons donc à l'équation du mouvement de l'air

$$u = \sqrt{2gH \frac{\frac{u}{T} - 1}{1 + k \frac{L}{D}}}$$

Pour annuler le courant naturel thermique, il suffit d'un dérangement de pression atmosphérique, dont la mesure, exprimée en hauteur de colonne d'air, est égale à cette même hauteur qui engendre les vitesses de régime, que nous venons de calculer. Voyons quelle est cette hauteur que nous appellerons a .

Revenons donc encore à la formule [2]. La quantité $H \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right)$ sous le radical, représente la différence de hauteur de deux colonnes d'air de même section droite, de même poids total, et faites avec de l'air aux températures θ et T . Elle représente donc la hauteur d'air que nous cherchons, et qui sera :

$$a = H \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right) = \frac{u^2}{2g} \left(1 + k \frac{L}{D} \right),$$

d'où pour le cas de la vitesse maxima, $u = 2.33$, on déduit $h = 10.43$.

Or, si l'on pense qu'à la hauteur du Fréjus, savoir entre 1,200 et 1,300 mètres au-dessus du niveau de la mer, 1 millimètre de mercure correspond à peu près à 12^m60 d'air, il s'ensuivra qu'une perturbation atmosphérique, mesurée par 8/10 de millimètre dans la colonne barométrique et agissant dans le sens de diminuer la différence normale de pression entre les extrémités, suffit pour anéantir la plus active des ventilations que les conditions thermodynamiques du tunnel peuvent engendrer. Et si la perturbation est encore plus grande, ce qui arrive très souvent dans ces localités, non seulement il y aura complet arrêt dans le courant nord-sud, mais il s'engendrera un autre courant dans le sens contraire. Vice versa, si la perturbation se produit dans l'autre sens, c'est-à-dire si la différence de pression $p_1 - p_2$ croît au delà du point normal, le courant naturel augmentera son activité proportionnellement à l'intensité de la perturbation même. Et cela doit arriver, et arrive, en effet, quelquefois, et alors les conditions d'aération deviennent vraiment excellentes de manière que, peu d'instants à peine après la sortie d'un train du tunnel, on voit immédiatement, du sommet du souterrain, apparaître les deux débouchés comme deux points brillants.

Mais malheureusement les cas dans lesquels le courant barométrique souffle dans le sens favorable au courant thermique sont moins fréquents que les cas contraires. C'est un fait qui est acquis et démontré par l'expérience de dix-huit ans et qu'on déduit des tableaux dressés d'après les observations météorologiques qu'on a toujours faites et que l'on continue à faire avec beaucoup de soin et de régularité au Fréjus, que la différence entre les indications données par le baromètre dans le même instant aux deux embouchures — différence qui, dans des

conditions normales, devrait être de $10^{m\mu 3}$ — est, au contraire, plus souvent inférieure que supérieure à ce nombre.

Cette irrégularité de forme et de temps, avec laquelle s'engendrent et se manifestent les irrégularités atmosphériques, est un fait qu'il n'est pas possible d'expliquer : les enseignements de la météorologie à ce sujet sont encore trop insuffisants. Du reste, il est bien probable que, quelque explication qu'on puisse donner, elle ne pourrait avoir pour nous qu'un intérêt tout à fait académique. Alors même, en effet, qu'on découvrirait la loi, si loi existe, qui règle les phénomènes, il ne serait probablement pas possible d'en tirer aucun avantage, parce qu'il est certain que cette loi, comme toutes les lois de la nature, ne pourra être modifiée par nous pour favoriser l'utilité que nous en tirons.

En résumé, pour le tunnel du Fréjus, dans lequel, comme nous venons de le voir, dans des conditions atmosphériques normales, il existe toujours un courant du nord au sud, on doit conclure que les perturbations barométriques, qui, par suite de leur fréquence et de leur intensité, sont le plus souvent les maîtresses absolues de l'aération, apportent une somme de dommages supérieure à la somme des avantages, parce que, quand elles sont favorables, elles donnent au courant thermique un secours qui, s'il est utile, n'est pas toujours nécessaire; tandis qu'au contraire, lorsqu'elles combattent, anéantissent, ou renversent le courant — et c'est ce qui arrive le plus souvent — elles sont toujours nuisibles.

Au tunnel du Saint-Gothard, où le parcours souterrain est plus long et la différence de niveau entre les extrémités est plus petite, où par conséquent la force motrice est moindre, et où les résistances passives sont plus grandes, le courant thermique spontané doit être, et est en effet, plus faible qu'au Fréjus; et il est plus fréquemment et plus aisément maîtrisé par les courants barométriques engendrés par les perturbations atmosphériques extérieures.

Si nous appliquons l'équation [2] au mouvement de l'air dans le tunnel du Gothard, pour lequel nous avons : $L = 15,000$, $H = 35.40$; et si nous observons que, d'après les données qui nous ont été fournies par la Compagnie du chemin de fer, la température du point culminant intérieur oscille entre un maximum de $+23^{\circ}$ centigrades en été et un minimum de $+15^{\circ}$ en hiver, et que la température extérieure varie entre $+20^{\circ}$ et -8° , nous aurons une vitesse de régime pour l'aération thermique variable entre 0.28 dans les plus fortes chaleurs, et 0.82 dans les plus grands froids. Ce qui donnerait pour la ventilation spontanée au

Gothard des conditions beaucoup moins bonnes qu'au Fréjus. Mais, d'autre part, les courants barométriques peuvent s'engendrer et s'imposer plus facilement. En effet, si nous considérons le cas de la plus grande vitesse du régime thermique, qui est de 0.82 par seconde, nous trouvons qu'elle est engendrée par une hauteur de charge, mesurée en colonne d'air par $a = \frac{v^2}{2g} \left(1 + k \frac{L}{D} \right) = 1.57$, qui correspond à 0.00013 de mercure. Il suffit donc d'une perturbation météorologique mesurée par 13 centièmes de millimètre de la colonne barométrique pour anéantir le courant thermique. D'où il s'ensuit qu'au Gothard, bien plus qu'au Fréjus, l'aération doit être presque complètement à la merci des troubles, même très faibles, de l'atmosphère. C'est ce qui arrive en effet. Les observations faites pendant plusieurs années sur la direction et sur l'intensité du courant ont donné, en moyenne pour chaque année, les résultats suivants que nous trouvons dans une note de la Compagnie :

1° Courant faible du nord pendant une quarantaine de jours. (Ce sont les jours pendant lesquels il n'y a pas de troubles atmosphériques et le courant thermique peut fonctionner tout à son aise);

2° Courant plus fort, et même très fort, du nord pendant 170 jours. (Ce sont les jours pendant lesquels il se produit un courant barométrique du nord qui s'ajoute au courant préexistant thermique);

3° Courant incertain ou renversé pendant les autres 155 jours. Ce sont les jours pendant lesquels le courant barométrique souffle du sud, et où, selon son intensité, il affaiblit, ou anéantit, ou même renverse l'aération thermique.

Cette prépondérance des courants barométriques, qui peuvent se manifester indifféremment dans un sens ou dans l'autre, sur les courants thermiques qui sont toujours orientés dans la même direction, augmente au fur et à mesure que la différence de niveau entre les extrémités devient plus petite, de manière que, pour une différence nulle, aucun courant thermique n'est jamais possible; et alors, s'il y a mouvement dans la colonne d'air, il est dû exclusivement aux perturbations météorologiques.

Par conséquent, dans les tunnels horizontaux, tandis qu'il n'y aura pas d'aération toutes les fois que les conditions atmosphériques seront normales, il y aura, au contraire, un courant dans un sens ou dans l'autre, plus ou moins intense, toutes les fois que quelque perturbation se produira. La seule condition qui doit être remplie, et qui du reste en général se vérifiera toujours à cause de la grande distance et de la différente exposition des extrémités du tunnel, c'est

que les dérangements atmosphériques ne soient ni synchrones ni d'intensité égale sur les deux versants de la montagne.

De ce que nous venons d'exposer, il découle donc cette différence essentielle entre les grands tunnels : que pour les souterrains qui ont une forte différence de niveau entre les extrémités, il est à désirer que les perturbations se produisent le plus rarement possible, et, dans les cas dans lesquels elles arrivent, qu'elles se comportent de manière à accroître la différence entre les pressions extrêmes ; qu'au contraire, dans les autres tunnels le desideratum serait qu'il n'y eût jamais de normalité dans les pressions, parce qu'elle est une condition d'arrêt dans le courant, et qu'il existât toujours, au contraire, une perturbation quelconque dans un sens ou dans l'autre.


Lequel donc des deux types de tunnel faut-il préférer au point de vue de l'aération spontanée ? Les arguments pour former un jugement sont absolument trop variables pour pouvoir trancher la question ; et l'incertitude croît encore si l'on réfléchit qu'un autre élément vient encore compliquer le problème.

Dans les tunnels à fortes rampes, dans lesquels il est plus probable qu'on ait une ventilation suffisamment active, on a le désavantage que le besoin de l'aération est aussi plus impérieux parce que la quantité de fumée produite par la combustion est fort grande ; tandis que dans les tunnels horizontaux ou à faible pente avec une ventilation moins active, on a aussi à enlever une plus petite quantité de gaz non respirables.

Nous devons donc conclure que dans les grands tunnels, qui communiquent avec l'extérieur seulement par la voie des embouchures, la ventilation naturelle à cause de certains agents physiques, dont il n'est pas possible de faire varier la manière d'agir et les effets, sera bien souvent insuffisante, quel que ce soit d'ailleurs le profil altimétrique du souterrain.

Il se présente ici maintenant tout naturellement la question de savoir s'il est possible de corriger cet état de choses par le moyen, qui entre dans la catégorie des moyens naturels, de la construction d'un ou de plusieurs puits ou cheminées d'extraction, installées dans des conditions convenables le long du parcours du souterrain.

Écartons pour le moment la solution dont nous nous occuperons ensuite, de construire une cheminée sur la tête plus élevée, parce que cette solution obligerait à fermer l'extrémité du tunnel dans les intervalles entre les passages des trains, ce qui constituerait toujours et partout une condition de choses fort dangereuse et ne sera pas pratique sur une ligne importante ; et encore parce



que dans cette cheminée, enveloppée par l'atmosphère extérieure, l'air pourrait difficilement se maintenir à la température moyenne intérieur du tunnel, ce qui le plus souvent dérangerait le tirage et troublerait le fonctionnement de la cheminée.

Occupons-nous des puits creusés dans la montagne et aboutissant dans le tunnel à des puits intermédiaires, de ces puits pour le fonctionnement desquels il n'est pas nécessaire de recourir à la fermeture d'une des extrémités du tunnel.

Pour ce cas spécial, aucun doute n'est possible sur la réponse à donner à la question que nous venons de poser sur l'utilité des puits d'aération.

Toutes les fois que la construction des puits sera un travail matériellement possible, — ce qui malheureusement n'arrivera pas souvent dans les grands tunnels traversant une chaîne de montagnes, comme au Fréjus et au Gothard, par suite du profil de la montagne dans l'axe du tunnel, — il sera toujours très utile de l'exécuter, pourvu que les puits soient bien proportionnés, et surtout *pourvu que leur situation soit fixée d'une manière rationnelle*.

La première de ces deux conditions est essentielle, parce que si les cheminées n'ont pas la section et la hauteur proportionnées de manière à pouvoir, dans les conditions normales, extraire et débiter la quantité d'air voulue, il est évident que l'aération dans le tunnel sera insuffisante.

La seconde est plus essentielle encore, parce qu'une situation irrationnelle peut, non seulement rendre les puits inutiles, mais, ce qui est bien plus grave, les rendre dangereux et nuisibles, de manière qu'on trouve préférable de les supprimer, au moins partiellement.

Cela sert à expliquer la raison pour laquelle dans quelques tunnels en Italie (comme dans le souterrain Sella de 2,400 mètres sur la ligne Bra-Savone), on a été obligé de boucher certains puits qu'on avait creusés pour accélérer la perforation et la construction du tunnel, et qu'on crut ensuite, et à tort, pouvoir utiliser comme cheminées de ventilation.

La situation de ces puits, fixée d'après les besoins de la construction et en suivant les accidents favorables du profil de la montagne, n'avait aucun rapport avec les exigences de l'aération; et il se fit que les puits, qui fonctionnaient comme des ventilateurs, tout en engendrant des courants très puissants dans certains tronçons, supprimaient tout mouvement dans les autres en les rendant absolument inhabitables.

Nous allons voir, la théorie à la main, et dans le cas d'un puits seul, cas

que nous considérerons d'abord, comment il doit y avoir une relation spéciale et immuable pour chaque tunnel entre la hauteur et la situation du puits, relation spéciale et immuable comme les lois de la dynamique des gaz; et comme, lorsque ces lois ne sont pas respectées, il doit se produire dans l'aération du tunnel des troubles et des perturbations qui quelquefois peuvent engendrer une condition de choses pire que si le puits n'existait pas.

Cette relation, que nous allons trouver, nous donnera le moyen de résoudre le problème de la meilleure manière toutes les fois que la construction du puits sera un ouvrage matériellement possible.

Représentons par A B C (fig. 2) le profil schématisé d'un tunnel, en un

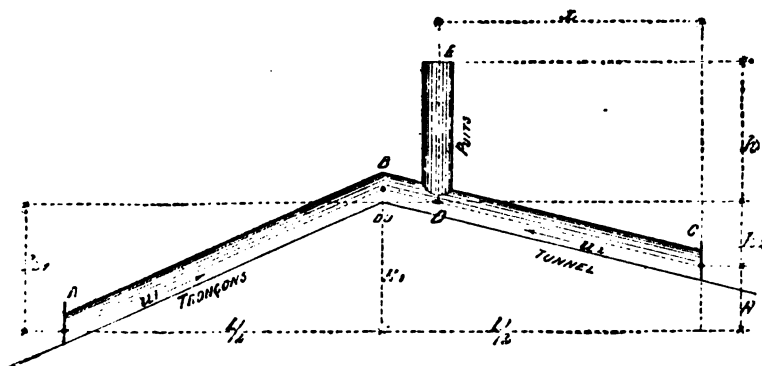


Fig. 2.

point D duquel il y ait un puits D E d'aspiration. Le puits D E de hauteur h se trouve évidemment dans la condition d'une cheminée qui porte à sa base deux ajutages D A et D C, dont les bouches d'aspiration A et C se trouvent à des hauteurs différentes h_1 et h_2 au-dessous de ladite base D. Par conséquent, il est certain que, si la température moyenne de l'air est la même dans les deux tronçons, chaque ajutage fournira à la cheminée un volume d'air qui dépendra de sa longueur et de sa hauteur au-dessous du plan de niveau passant par D. Et, pour préciser, si nous revenons à la formule générale des cheminées que nous avons trouvée :

$$u = \sqrt{2gH \frac{\frac{\theta}{T} - 1}{1 + k \frac{L}{D}}}$$

nous pouvons dire que les volumes d'air fournis aux puits par les deux tronçons

du tunnel, ou, ce qui revient au même, les vitesses u_1 et u_2 du courant, sont entre elles comme :

$$\frac{h + h_1}{1 + k \left(\frac{L-x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)} : \frac{h + h_2}{1 + k \left(\frac{x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)},$$

où toutes les lettres ont la signification indiquée par la figure, et D_1 est le diamètre moyen de la section du puits.

De cette condition de proportionnalité entre les vitesses du courant dans les deux tronçons, on déduit immédiatement que, *cæteris paribus*, on ne peut faire croître ou diminuer une des deux vitesses sans faire varier l'autre en sens contraire : ce qui veut dire qu'on ne peut améliorer l'aération dans une partie du tunnel sans empirer celle de l'autre. Or, comme il est indispensable que l'aération soit également bonne, tant qu'il est possible, c'est-à-dire uniformément distribuée dans tout le souterrain, il s'ensuit la nécessité de s'imposer comme condition que $u_1 = u_2$, ce qui arrivera lorsqu'on aura :

$$\frac{h_1 + h_2}{1 + k \left(\frac{x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)} = \frac{h + h_1}{1 + k \left(\frac{L-x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)} \dots \dots \dots [3]$$

laquelle équation servira à nous déterminer x , c'est-à-dire la distance horizontale de l'axe de la cheminée à la tête plus élevée, en tenant compte que, comme on le déduit de la figure, les valeurs de h_1 et h_2 sont données par :

$$h_1 = H + 2 \frac{H_1 - H}{L} x, \quad h_2 = 2 \frac{H_1 - H}{L} x \dots \dots \dots [4]$$

En général, pour les besoins de la pratique, il ne sera presque jamais nécessaire de déterminer l'abscisse x avec une très grande exactitude, d'autant plus que cela ne serait d'ailleurs guère possible à cause de l'incertitude dans laquelle nous nous trouvons sur la valeur à donner au coefficient de frottement k . C'est pourquoi le plus souvent on aura une approximation suffisante en négligeant le premier terme du dénominateur dans l'équation [3], lequel, en général, est très petit en comparaison du second ; c'est d'ailleurs ce qu'on fait toujours, en hydraulique, dans l'équation du mouvement dans les longues conduites, où l'on ne tient pas compte du terme qui représente la perte de charge due à la vitesse de régime, terme qui est très petit en comparaison des autres qui représentent les pertes de charge dues aux résistances passives. Et si, en outre, nous présuppo-

sons encore une certaine valeur pour D_1 , en le faisant par exemple égal à D , comme en général il conviendra de faire, l'équation [3] devient :

$$\frac{h + h_2}{x + h} = \frac{h + h_1}{L - x + h} \dots \dots \dots [5]$$

$$\text{d'où : } x = \frac{1}{2 h + h_1 + h_2} [L (h + h_2) + h (h_2 - h_1)] \dots \dots \dots [6]$$

et alors en substituant à h_1 et h_2 les valeurs données par [4], on obtient finalement :

$$x^2 - \frac{L (2 H_1 - 3 H - 2 h)}{4 (H_1 - H)} x - \frac{L h \cdot L - H)}{4 (H_1 - H)} = 0 \dots \dots \dots [7]$$

Cette équation nous dit donc que x , c'est-à-dire la position du puits, dépend de L , H_1 , H , et par conséquent de la longueur et des conditions altimétriques du tunnel, et de h hauteur du puits. Par elle nous pourrions donc déterminer, dans chaque cas spécial dans lequel nous connaissons L , H et H_1 , une première valeur pour x , après avoir fixé à priori une valeur convenable pour h , ou vice versa.

S'il arrive d'avoir besoin d'une approximation plus grande, il suffira de substituer dans les équations [4], x par la première valeur trouvée pour cette quantité. On en déduira les valeurs correspondantes de h_1 et de h_2 que l'on portera dans l'équation [6] et ainsi de suite : de manière qu'on arrivera à trouver pour x une valeur aussi approximative qu'il sera nécessaire.

Voyons maintenant pour quelques cas spéciaux quelles seront les valeurs de x et de h .

Pour un tunnel horizontal, nous avons $H=H_1=0$, et alors l'équation [7] nous donne $x = \frac{L}{2}$. De même, pour $H = 0$, c'est-à-dire pour un tunnel à rampes, mais avec les extrémités au même niveau, quel que soit d'ailleurs le tracé altimétrique interposé, on a encore $x = \frac{L}{2}$.

Ces résultats, d'autre part, sont évidents, si l'on pense que, dans les deux cas que nous venons de considérer, tout est symétrique, tirages, résistances, etc., par rapport à la verticale qui passe par le milieu de la longueur du tunnel, et que par conséquent le puits doit occuper la position de symétrie.

Pour $h = 0$, l'équation [7] donne deux valeurs pour x , dont l'une, la seule qui ait une signification pour nous, est $x = 0$. C'est le cas dans lequel il n'y a pas de cheminée, et où le tunnel tout entier même se transforme en une cheminée unique.

Pour $x = \frac{L}{2}$ on doit avoir $h = \infty$, parce que, h_1 étant différent de h_2 , nous aurons affaire à deux cheminées de hauteurs différentes, et alors, comme les sections et les températures sont les mêmes, pour que les vitesses aussi soient les mêmes, il faut absolument que h soit infini. Ce qui, du reste, découle clairement de l'équation [5], qui pour $x = \frac{L}{2}$ devient :

$$h + h_1 = h + h_2$$

Or, comme h_1 et h_2 sont des quantités finies et différentes, par hypothèse, entre elles, l'équation ne peut exister qu'à la condition que $h = \infty$.

Voyons encore, pour le cas spécial du tunnel du Fréjus, quelle position il faudrait donner à un puits de 100 mètres de hauteur, dans la supposition que le profil de la montagne permettrait le creusement de ce puits. Si dans l'équation [7] nous introduisons $h = 100$, et les données du tunnel du Fréjus $H_1 = 139$, $H = 133$, $L = 12,240$, nous trouvons $x = 3,638$, c'est-à-dire que le puits devrait être ouvert sur le tronçon côté Bardonnèche à une distance de 3,638 mètres de la tête sud, par conséquent avec une excentricité de 2,432 mètres du point culminant du milieu.

En faisant le même calcul pour le tunnel du Saint-Gothard, pour lequel on a $H_1 = 45.10$, $H = 35.40$, $L = 15,000$, nous trouvons qu'un puits de 100 mètres de hauteur devrait être fixé sur le tronçon Airolo à la distance de 1,068 mètres du point culminant du milieu, savoir dans une position plus concentrique qu'au Fréjus, parce que le facteur de l'excentricité, c'est-à-dire la différence de niveau entre les extrémités, est au Gothard moindre qu'au Fréjus.

Pour le tunnel de l'Arlberg, où l'on a $H_1 = 93.75$, $H = 86.22$, $L = 10,250$, en tenant compte que dans ce souterrain le point culminant ne se trouve plus, comme au Gothard et au Fréjus, à la moitié de L , mais à 4,000 mètres de l'embouchure est (ce qui apporterait quelque faible variation dans la formule [7]) on trouverait que le puits de 100 mètres devrait être fixé à 3,624 mètres de l'embouchure est.

Dans certains cas, il pourra convenir de résoudre le problème en sens contraire, c'est-à-dire de fixer à priori la localité du puits, et de calculer la hauteur h que l'on devra donner à la cheminée pour satisfaire aux conditions de l'équation [7]. Cela arrivera, par exemple, lorsque le profil de la montagne présentera une dépression correspondant à un point convenablement situé sur le tronçon le plus élevé du tunnel, dépression qui permette de creuser un puits

avec une dépense relativement modeste. Alors, si la hauteur h donnée par l'équation n'est pas excessive en elle-même, ni trop supérieure à la hauteur naturelle du puits, le problème pourra trouver une bonne solution.

De cette manière, nous avons donc le moyen de déterminer la position rationnelle à donner à une cheminée de hauteur fixée, ou la hauteur à donner à une cheminée dans une position déterminée, pour que la vitesse ascensionnelle de l'air soit la même dans les deux tronçons qui aboutissent au puits.

Il restera encore dans les deux cas à calculer la section du puits. Ce calcul devra naturellement être fait d'après la condition que, dans les circonstances thermiques les moins favorables, c'est-à-dire lorsqu'on aura la moindre différence entre les températures extérieure et intérieure, la cheminée se trouve en condition de pouvoir renouveler toute la masse d'air du tunnel dans une certaine période de temps. Il pourra se faire qu'on arrive à une section extrêmement grande, telle que le puits ne puisse pas être construit pratiquement. Et alors on devra, dans les limites admissibles, faire varier les autres données du problème de manière à obtenir, ce qui ne sera pas toujours possible, une solution rationnelle sous tous les points de vue.

Cette solution rationnelle et pratique, qu'on ne trouvera pas toujours avec le procédé que nous venons d'exposer, pourra quelquefois être donnée par un autre procédé, que nous allons indiquer aussi, et qui, dans certaines circonstances, sera plus rationnel encore que le premier.

En fixant la position du puits par la première méthode, on obtient la même vitesse de régime dans les deux tronçons : il s'ensuivra donc que, dans la branche A D, la plus longue, la colonne d'air aura besoin, pour se renouveler complètement, d'une période plus longue que celle qui sera nécessaire pour la branche plus courte C D ; et la différence des deux périodes sera d'autant plus grande que la différence de longueur des deux tronçons sera plus grande.

Il est aisé de comprendre alors qu'il peut arriver, dans certains cas, que tandis que l'aération, ainsi engendrée, soit suffisante dans la branche courte, elle ne le soit plus dans la branche longue. Si ceci arrive en effet, il sera utile, et même quelquefois nécessaire, de faire une correction dans la position préalablement déterminée d'après la condition d'égalité de vitesse dans tout le tunnel.

Il est évident que la condition la meilleure et la plus rationnelle qu'il convient de remplir pour obtenir une aération uniforme, c'est de prendre les vitesses de régime dans les deux tronçons proportionnelles aux longueurs. De cette manière, le renouvellement complet de l'air s'accomplira dans la même période

de temps dans les deux tronçons. Nous aurons alors comme équation de condition :

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{L - x}{x} \dots \dots \dots [8]$$

D'un autre côté, nous avons encore :

$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{h + h_1}{h + h_2} \frac{1 + k \left(\frac{x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)}{1 + k \left(\frac{L - x}{D} + \frac{h}{D_1} \right)}} \dots \dots \dots [9]$$

En combinant les deux équations, nous arrivons à l'équation définitive en x : mais elle sera du troisième degré et complète, c'est-à-dire de résolution difficile et laborieuse. Il vaudra peut-être mieux procéder par tâtonnements de la manière suivante :

Sur la branche A D, qui est la plus longue, nous avons besoin d'avoir une vitesse plus grande que sur C D. Il conviendra donc de diminuer A D, c'est-à-dire de donner à x une valeur supérieure à celle que nous avons trouvée par l'hypothèse $u_1 = u_2$. Nous choisirons donc pour x une valeur convenable intermédiaire entre la valeur trouvée et $\frac{L}{2}$; par l'équation [8] on déterminera une valeur correspondante pour $\frac{u_1}{u_2}$, et ensuite par l'équation [9] une nouvelle valeur de x qui sera plus approximée que la première, et qui nous donnera, au moyen de l'équation [8], un nouveau rapport $\frac{u_1}{u_2}$, et ensuite par l'équation [9], une troisième valeur de x . Et ainsi de suite, jusqu'à ce que la différence entre les valeurs successives de x devienne aussi petite qu'il est nécessaire pour pouvoir considérer la dernière comme suffisamment approximée.

Par les deux procédés que nous venons de développer, nous aurons toujours le moyen de trouver une excellente solution théorique du problème de l'aération d'un tunnel quelconque. Cette solution pourra aussi quelquefois être appliquée en pratique; mais souvent le profil de la montagne s'y opposera. Et alors, il faudra renoncer à toute idée d'aération par le moyen des puits.

En nous restreignant à considérer les cas où il n'y a pas d'impossibilité absolue, la théorie que nous venons d'exposer, laquelle n'est, en somme, que l'application de ce qui découle de la discussion de la formule des cheminées, nous prouve donc — ce que nous avons déjà dit dès le commencement — qu'un puits de ventilation est toujours très utile pour les tunnels, pourvu que sa situation

et sa hauteur ne soient pas quelconques, mais qu'elles soient fixées d'après des considérations rationnelles. Et elle nous apprend encore que le même puits peut non seulement devenir inutile, mais nuisible. Il suffira, en effet, pour que cela arrive, que le puits se trouve par rapport aux extrémités dans une position telle que la plus grande partie de l'air appelé par la cheminée soit fournie par une des extrémités. Il est évident que dans la branche qui aboutit à l'autre extrémité, le courant sera faible, et cette faiblesse, dans certaines circonstances, peut être telle que l'atmosphère en devienne nuisible à la respiration.

Dans ces cas, il peut convenir de fermer les puits, parce qu'alors l'aération naturelle, que les conditions thermiques et altimétriques du tunnel peuvent engendrer même dans le puits, sera au moins uniformément distribuée, et si la vitesse de régime, qu'on aura, sera supérieure à la plus petite des deux, qu'on avait avant, on devra conclure que le puits, à cause de sa situation, est nuisible.

Naturellement, le régime d'aérage engendré par un puits rationnellement proportionné et fixé de position, subira, lui aussi, l'effet des perturbations atmosphériques de la même manière que nous avons vu arriver dans les grands tunnels qui ne communiquent avec l'extérieur que par le moyen des extrémités.

Mais il est ici utile d'observer immédiatement que, *cæteris paribus*, l'effet produit par une perturbation atmosphérique sur l'aération d'un souterrain sera, en général, moindre si le souterrain a un puits rationnellement fixé, que s'il n'est ouvert qu'aux extrémités. Et, en effet, ce sont des perturbations qui ont de l'influence sur l'aération, celles pour lesquelles la différence entre les indications données par le baromètre aux débouchés est supérieure ou inférieure à la différence due à la hauteur verticale interposée entre les débouchés mêmes. Par exemple, pour raisonner sur un cas spécial, il y aura dérangement dans l'aération thermique d'un tunnel lorsque, la pression à une extrémité étant normale, on a une certaine anomalie à l'autre. Or, cette anomalie, qui est nulle à la première extrémité et qui finit par avoir une certaine valeur à l'autre, aura évidemment des valeurs intermédiaires dans les points intermédiaires. Si donc dans un de ces points intermédiaires on ouvre un puits, la colonne d'air du tunnel se trouvera être maîtrisée non par la différence de pression entre les extrémités du tunnel, mais par la différence de pression entre chaque débouché et le sommet de la cheminée. Or, il est évident, d'après ce que nous venons de dire, que les anomalies dans ces dernières différences seront toujours plus petites que celles qui, toutes choses

égales d'ailleurs, se manifesteront dans les différences de pression entre les extrémités.

Par conséquent, le puits rendra moindres les perturbations dominantes, et, par suite, moindres aussi les anomalies dans l'aération.

Du reste, quelles que soient les perturbations qui peuvent entrer en jeu dans le cas de la cheminée, elles ne réussiront jamais à engendrer une condition de choses pire que celle qu'on aurait si le puits n'existait pas. Pour cela donc, même sous ce point de vue, le puits sera toujours utile, et, dans la pire des hypothèses, il ne sera jamais ouvrage nuisible.

Et, en effet, que peut-il arriver par effet des perturbations atmosphériques dans un tunnel pourvu d'un puits d'aérage? Ou bien il y aura mouvement d'air dans un sens quelconque, de montée ou de descente dans la cheminée, — et ce sera ce qu'il arrivera le plus souvent, — ou bien il y aura arrêt complet. Dans le premier cas, lorsqu'on aura mouvement de montée, ce sera le courant barométrique qui conspirera avec le courant thermique en donnant lieu à une aération fort active; lorsqu'au contraire on aura un mouvement de descente, ce sera le courant barométrique qui aura anéanti et renversé le courant thermique en engendrant toutefois de l'aérage par refoulement. Dans le deuxième cas, — auquel correspondra le pire état de choses pour le tunnel, et qui n'arrivera certainement que dans des circonstances spéciales très rares, lorsqu'un arrêt complet se produira dans l'aérage, — le puits fonctionnera comme conduite piézométrique et les choses se passeront dans le tunnel comme si la cheminée n'existait pas; c'est-à-dire qu'il s'établira entre l'extrémité la plus basse et l'extrémité la plus élevée un courant faible ou actif, que le tunnel, tout seul, sans aucun secours, est à même d'engendrer.

Il s'ensuit donc qu'avec le puits, lorsque naturellement celui-ci est convenablement proportionné et fixé de position, nous aurons, le plus souvent, une aération bien meilleure; et, dans la pire hypothèse, même si le fonctionnement de la cheminée s'arrête, il se rétablira dans le tunnel cette ventilation bonne ou mauvaise qu'on aurait sans le puits. Par conséquent, avec le puits, même dans les circonstances les plus défavorables, il n'y aura rien d'empiré.

La théorie que nous venons de développer relativement aux puits considérés comme moyens d'activer l'aérage des grands tunnels ne sert que pour le cas, que nous avons supposé, d'un puits unique pour chaque souterrain. Si, au contraire, les puits sont au nombre de plusieurs, le régime d'aérage deviendra beaucoup plus compliqué. Mais le principe dominant de la théorie exposée,

savoir le principe de la création dans le souterrain de deux courants dirigés vers un point intermédiaire, doit dominer encore, même dans le cas de la pluralité des puits ; et ce sera seulement en subordonnant à cette idée la distribution et le calcul des puits qu'il sera possible de créer un état de choses tel que tous les puits conspirent au but unique de donner un renouvellement de l'air régulier et uniforme, et qu'il n'arrivera jamais que l'action des uns se trouve en lutte avec l'action des autres.

Considérons de nouveau la cheminée unique qui engendre deux courants dirigés, avec des vitesses déterminées, vers sa base. Il est évident que le régime ne sera pas troublé, si dans les deux tronçons du tunnel, qui fonctionnent comme des ajutages de la cheminée, on ouvre des communications avec l'extérieur en creusant des puits ainsi proportionnés et fixés de position qu'ils donnent lieu à des tirages exactement symétriques par rapport à la cheminée principale. Il est clair que dans cet état de choses tous les puits secondaires fonctionneront comme de véritables collaborateurs du puits principal.

Si, au contraire, le principe de la symétrie n'est pas respecté, il y aura dérangement dans le rapport préalablement fixé entre les vitesses des deux courants, rapport qui est une condition indispensable pour que l'on ait l'uniformité nécessaire dans l'aérage.

Ce principe de la symétrie pourra toujours être appliqué (abstraction faite des difficultés et, quelquefois, des impossibilités matérielles que l'on peut rencontrer à creuser des puits de hauteurs et de positions déterminées) quel que soit le nombre total des puits, excepté le cas dans lequel le nombre se réduit à deux. En effet, lorsqu'on aura fixé la position et la hauteur du puits principal dans le centre d'action des tirages par le procédé que nous avons développé, il sera toujours possible de distribuer et de proportionner en section et en hauteur les autres puits excentriques, de manière que le rapport des résistances dans les deux tronçons du tunnel reste invariable et que, par conséquent, il en soit de même pour le rapport des vitesses préalablement fixé ; et ceci, notons-le bien, sera toujours possible, pourvu que le nombre des cheminées excentriques soit supérieur à un. La chose est évidente si le nombre est pair, parce qu'alors des $2n$ cheminées disponibles on peut en distribuer n d'un côté du puits central et n de l'autre côté dans des positions et avec des sections convenables ; si le nombre est impair, on comprend aussi qu'il soit possible de fixer et de proportionner les $2n + 1$ puits de manière que les $n + 1$ d'un des deux tronçons du tunnel produisent une somme de tirages égale à celle des n puits de l'autre tronçon.

La même chose ne pourra plus arriver s'il n'y a qu'un puits excentrique unique, parce qu'alors, de quelque manière que l'on fixe les paramètres, ce puits rompra toujours l'équilibre dans le régime engendré par le puits central. Dans ce cas, il est encore possible de résoudre le problème rationnellement, mais il faudra abandonner la règle, invariable pour tous les autres cas, d'installer la cheminée principale dans le centre naturel des tirages. Il faudra alors déplacer cette cheminée de sa position primitive et l'éloigner de la cheminée secondaire jusqu'à ce qu'on arrive de nouveau à fixer entre les deux veines aboutissant à la cheminée principale ce rapport de vitesse que le puits principal même était en mesure d'engendrer en agissant tout seul, c'est-à-dire sans le secours du puits secondaire.

Avec cette nouvelle disposition, il est évident que le puits secondaire deviendra un véritable collaborateur du principal, lequel se trouvera ainsi avoir à débiter une quantité d'air plus petite que s'il était seul, et pourra, par conséquent, être construit avec une section convenablement réduite.

Nous pouvons donc conclure que, quel que soit le nombre des puits à installer pour ventiler un tunnel, il sera toujours possible, en choisissant convenablement les paramètres variables dont on peut disposer, de faire les choses de manière que tous les puits soient réellement utiles, et qu'ils concourent tous, dans une juste proportion, à produire l'aérage, sans qu'il arrive jamais que l'action des uns se trouve en lutte avec l'action des autres.

Et alors il est évident que, plus il y aura de puits, plus l'aérage sera actif.

Il nous reste maintenant à considérer le cas d'une puissante cheminée construite sur la tête la plus élevée du tunnel. Comme nous avons déjà dit, et comme il est d'ailleurs évident, le fonctionnement de cette cheminée ne serait possible qu'à la condition de fermer le débouché du souterrain au moyen d'une porte ou une sarrasine qu'on n'ouvrirait que pour donner passage aux trains.

Nous nous sommes occupés, à la haute Italie, de cette question de la fermeture d'une des têtes du Fréjus, lorsqu'en 1881 il fut un moment question d'installer un grand ventilateur à l'extrémité de Bardonnèche.

Nous vîmes alors qu'il n'y avait pas de système de portes automatiques qui pût garantir d'une manière absolue la sûreté du trafic, et que la manœuvre des portes, en vue des conditions tout à fait spéciales de la rampe d'accès à la galerie de raccordement (31^m p. m. sur une longueur de 1 1/2 kilomètre), devait être faite par des mécanismes commandés à la main et avec une telle quantité de précautions que la durée de chaque ouverture n'aurait pu rester infé-

rieure à une vingtaine de minutes, ce qui, pour les 30 passages, aurait donné 10 heures sur 24 de complète inactivité pour le ventilateur, et cela dans l'hypothèse des trains tous en horaire parfait. Cette circonstance, jointe à des doutes sérieux sur l'efficacité et le rendement du ventilateur toutes les fois que les conditions de pression atmosphérique étaient réglées de manière à engendrer, à portes ouvertes, un courant renversé de Bardonnèche à Modane — doutes qui portaient à craindre que l'action du ventilateur vint à se trouver paralysée précisément dans les moments critiques où le besoin d'un bon courant était le plus impérieux, — cette circonstance, dis-je, et ces doutes firent abandonner toute idée de créer une ventilation artificielle.

Mais, même en supposant que, dans quelque cas spécial, la fermeture du tunnel ne soit pas une difficulté, il est fort à craindre qu'une cheminée, qui tout en agissant comme un ventilateur présenterait certainement moins de garanties, ne se trouve pas toujours en condition de résoudre convenablement le problème de la ventilation.

Pour s'en persuader, il suffit d'observer que l'application d'une cheminée sur la tête la plus élevée du tunnel équivaut apparemment à augmenter la différence de niveau entre les extrémités, ce qui, d'après notre formule [2], aurait pour effet d'augmenter le tirage thermique et de produire un véritable bénéfice. Mais, avant tout, ce fait ne mettra jamais la colonne d'air du tunnel à l'abri de l'action dangereuse de ces perturbations atmosphériques, que nous avons étudiées, et qui continueront à maîtriser l'aérage, quoique peut-être dans une moindre mesure ; sous ce point de vue, si l'on peut gagner, ce sera certainement très peu de chose. Mais il y a plus. L'augmentation de la différence entre les niveaux des têtes, amenée par la cheminée, n'est, en grande partie au moins, qu'apparente. En effet, pour que cette augmentation fût réelle et toute utile, il serait nécessaire que la température de l'air dans la cheminée pût se maintenir toujours égale à la température moyenne de la colonne d'air dans le tunnel. Or, dans notre cheminée, cela n'arrivera pas. La colonne d'air du tunnel au moment où elle va s'engager dans la cheminée aura une température inférieure à la moyenne, parce que, en descendant du milieu du tunnel, elle se sera refroidie jusqu'à atteindre à peu près la température extérieure. Ce qui veut dire que la différence de poids entre la colonne d'air de la cheminée et une colonne d'air extérieur de même hauteur sera, le plus souvent, une quantité à peine appréciable. Et comme cette quantité représente précisément la puissance du tirage de la cheminée, il s'ensuit que l'activité de la cheminée sera très petite, ou ce

qui revient au même, que cette cheminée, quoique d'une hauteur très grande, n'équivaudra qu'à une cheminée très petite dans laquelle on puisse maintenir une température égale à la température moyenne du tunnel.

La même chose n'arriverait pas dans un grand puits creusé dans la montagne et aboutissant dans le tunnel à un point pas trop éloigné du milieu, parce que dans ce puits, plongé dans la montagne, la distribution des températures se comporterait comme dans les branches du tunnel, c'est-à-dire qu'on aurait une température croissante du minimum extérieur jusqu'au maximum du milieu, et, par conséquent, une température moyenne égale à peu près à celle du souterrain; et, dans ce cas, la hauteur du puits est vraiment tout entière utile pour engendrer du tirage.

De toutes ces considérations, il s'ensuit donc qu'une cheminée construite sur la tête plus élevée du tunnel n'apportera qu'un très faible secours à l'aérage thermique naturel, secours qui certainement ne compensera pas les dépenses d'installation, les gênes et les embarras qui seront la conséquence de la clôture du souterrain.

Peut-être cet état de choses pourrait-il être amélioré en ayant recours à un grand foyer pour activer le tirage de la cheminée. Mais il est fort à craindre encore que les avantages qu'offrirait la nouvelle solution, avantages certainement assez faibles, ne seraient pas encore proportionnels aux gênes et aux dépenses dont nous venons de parler, ainsi qu'aux autres conséquences de l'existence du foyer.

En résumant tout ce que nous avons exposé sur la ventilation naturelle des grands tunnels, nous nous croyons autorisé à admettre les conclusions suivantes :

1° Dans un tunnel ouvert seulement aux extrémités, il y aura aérage thermique naturel, à conditions atmosphériques normales à l'extérieur, lorsque les débouchés seront à des niveaux différents. Le courant sera d'autant plus actif que la différence de niveau entre les extrémités et la différence entre les températures moyenne, intérieure et extérieure seront plus grandes. Le courant soufflera en montée ou en descente suivant que la température moyenne intérieure sera supérieure ou inférieure à la température moyenne extérieure. A parité de différence de niveau, le profil altimétrique du tunnel entre les extrémités, dans les limites où il peut varier, n'a pas d'influence appréciable sur le régime du courant. Enfin, le souterrain se comporte précisément comme une cheminée,

inclinée à l'horizon, de hauteur égale à la différence de niveau entre les têtes, et de longueur égale à sa longueur même.

2° Le régime susindiqué d'aérage thermique se fixera et se maintiendra toutes les fois qu'il n'y aura pas de perturbation spéciale dans les pressions barométriques aux extrémités, c'est-à-dire toutes les fois que la différence entre les pressions barométriques aux débouchés se maintiendra égale au poids d'une colonne d'air extérieur ayant pour hauteur la différence de niveau entre les débouchés mêmes. Une perturbation, quelle qu'elle soit, qui se manifeste dans le sens d'augmenter cette différence normale, aura pour effet de créer un nouveau courant qui combattra l'aérage préexistant, lequel, par conséquent, pourra être ralenti, annihilé, ou même renversé ; qu'enfin, une perturbation, même très minime, de moins d'un millimètre de mercure, par exemple, — c'est-à-dire telle qu'il peut s'en produire tous les jours partout et plus fréquemment dans les montagnes, pourvu seulement qu'elle ne soit pas synchrone, ou que, tout en étant synchrone, elle ne soit pas de la même intensité aux deux extrémités, — est suffisante pour engendrer par elle-même un courant d'intensité supérieure à celui qui peut être créé par les plus favorables conditions altimétriques et thermiques d'un souterrain de quelque longueur que ce soit. Par conséquent, on peut tirer la conclusion que lorsqu'il y a des perturbations, et cela arrive le plus souvent, l'aérage tombe complètement sous leur domination. Et pour ces cas il n'est pas possible d'imaginer ni de trouver aucun expédient qui soit à même de corriger ou de tempérer cette domination, qui est absolue et immuable, comme sont absolues et immuables les lois de la nature.

3° Ces conditions d'aérage d'un tunnel peuvent toujours être améliorées au moyen de la construction d'un puits, pourvu que ce puits soit convenablement proportionné en section et en hauteur, et pourvu surtout qu'il soit fixé dans une position rationnelle, position que la théorie que nous avons développée nous a fait voir subordonnée à la longueur totale du tunnel, aux circonstances altimétriques du profil, et à la hauteur du puits projeté. Par conséquent, toutes les fois que le creusement du puits sera un travail possible dans la montagne sur l'axe du tunnel, il sera toujours convenable de recourir à cet expédient.

4° La pluralité des puits sera en général plus avantageuse qu'un puits seul, et d'autant plus que le nombre des puits sera plus grand ; mais pour que les avantages puissent être réels et en proportion des fortes dépenses d'installation, il est nécessaire que les positions et les dimensions des différents puits soient déterminées, comme dans le cas d'un puits seul, d'après les considérations

rationnelles indiquées par la théorie. S'il en est autrement, les avantages peuvent se transformer en de véritables désavantages.

5° Enfin, une cheminée d'appel placée à la tête la plus élevée du tunnel, même activée par un foyer, n'apportera dans les meilleures circonstances qu'un très faible secours à la ventilation, secours qui ne dédommagera presque jamais des dépenses et des embarras engendrés par l'installation et le fonctionnement de la cheminée.

II

Ventilation artificielle.

Comme nous venons de le voir, la ventilation naturelle dans les tunnels traversant les grandes chaînes de montagnes est bien des fois insuffisante et bien souvent incertaine et irrégulière, soit parce que les températures extérieure et intérieure sont trop rapprochées, soit parce qu'il n'y a pas assez de différence de niveau entre les débouchés, soit par les deux causes réunies, soit enfin par effet de l'empire absolu qui peut être exercé sur l'aérage par les perturbations météorologiques de l'atmosphère extérieure, perturbations qui, à cause de la montagne interposée, ne sont en général ni synchrones ni d'intensité égale sur les deux versants sur lesquels viennent aboutir les extrémités du tunnel.

Lorsqu'il ne s'agit plus de tunnels traversant des montagnes, mais de souterrains traversant le sous-sol à peu de profondeur au-dessous de la surface libre, comme il arrive dans les chemins de fer métropolitains et dans les traversées sous les fleuves, la ventilation naturelle est moins bonne encore ; même on peut dire en général qu'il n'y en a pas, parce que dans ces cas, les circonstances qui, comme nous avons vu, sont en mesure, dans les tunnels de montagne, de donner lieu à des mouvements d'air, n'existent plus, ou ont une importance négligeable. Dans ces cas, en effet, la différence de niveau entre les extrémités, et la différence entre les températures sont nulles ou presque nulles. Les dérangements barométriques, comme il n'y a plus pour en retarder la propagation ni l'obstacle de la montagne, ni l'action variable des versants, deviennent synchrones, ce qui veut dire qu'ils exercent leur pouvoir dans le même temps et avec la même intensité sur les débouchés, et ils ne peuvent plus, par conséquent, être cause appréciable d'un courant, ni dans un sens, ni dans l'autre.

Le creusement des puits d'appel, qui serait toujours utile dans les tunnels de montagne, où, en général, la différence entre les températures intérieure et

extérieure a une valeur d'une certaine importance, est souvent un travail impraticable à cause du profil que la montagne présente sur l'axe du souterrain.

Dans les autres souterrains que l'on peut appeler de plaine, il manque presque toujours la force motrice due à la différence de température, et cela à cause de la faible profondeur du souterrain sous le sol naturel. Par conséquent, il est clair que les puits ou les cheminées, même s'il était possible de les construire, ce qui n'arriverait pas dans la traversée sous les fleuves, ne pourraient avoir aucune efficacité.

On doit donc conclure que dans les grands tunnels, et d'autant plus dans les souterrains de plaine, comme les moyens d'aérage naturels sont insuffisants, si l'on veut avoir constamment une bonne ventilation, il faudra avoir recours aux moyens artificiels, parmi lesquels on en trouvera toujours quelques-uns qui seront en mesure d'engendrer un aérage aussi actif qu'il sera nécessaire.

Les moyens artificiels d'aérage des tunnels doivent être classés en deux catégories différentes selon la nature et l'importance du but qu'ils se proposent d'atteindre.

La première se compose des moyens qui ont pour but de créer sur toute la longueur du souterrain un ou plusieurs courants continus qui renouvellent entièrement toute la colonne d'air dans une période de temps plus ou moins courte. Ce sont : 1° les foyers qui activent le tirage des puits d'appel ; 2° les machines ou appareils d'aspiration et de refoulement qui agissent sur la colonne d'air du tunnel.

La seconde comprend ces autres moyens dont le but, plus modeste, n'est que de donner lieu à un aérage partiel en fournissant de l'air pur dans certains points spéciaux, comme niches, chambres de refuge, etc., où le personnel puisse, dans une certaine manière, respirer à l'aise et refournir ses poumons d'oxygène pour se trouver en mesure de résister mieux aux désagréments de l'atmosphère malsaine qui règne dans toute la galerie restante. Elle comprend encore les autres moyens de secours, qui ont pour but de fournir, soit aux agents de la voie, soit au personnel des machines et des trains, de l'air pur condensé dans des appareils spéciaux, ou bien d'engendrer tout autour d'eux des courants locaux qui, fonctionnant comme réfrigérants, apportent toujours un soulagement précieux.

Ventilation artificielle complète. — Puisque dans un tunnel la ventilation est d'autant plus active que la différence de niveau entre les embouchures, et la

différence de température entre l'intérieur et l'extérieur sont plus grandes, il paraît tout naturel de penser à accroître, si la chose est possible, la valeur de ces différences. Augmenter la différence de niveau entre les débouchés ce n'est jamais possible dans le stricte sens du mot. Pourtant la construction des puits et des cheminées d'appel est quelque chose qui a à peu près ce même effet. Nous avons déjà vu quelle est l'efficacité de ces ouvrages et quand et comment il est possible et convenable d'y avoir recours.

Il reste à examiner s'il est aussi convenable d'accroître la différence de température, c'est-à-dire d'augmenter la température intérieure qui en général est déjà toujours supérieure à l'extérieure.

Aucun doute ne serait possible sur la réponse à donner à la question ainsi posée, si c'était chose pratique que de produire l'augmentation nécessaire dans la température avec un moyen quelconque différant de la combustion. Il est certain qu'alors, en faisant abstraction de la dépense, qui deviendrait très grande dans tous les cas, il serait possible d'obtenir une ventilation active, soit dans les tunnels sans puits, mais avec les débouchés à des hauteurs différentes, soit dans les autres souterrains de toute forme de tracés possibles, mais munis de puits.

Mais les choses sont différentes si le réchauffement de l'air du tunnel doit être fait au moyen de foyers alimentés par du combustible ordinaire. Dans ce cas, il faut faire une distinction entre les tunnels ouverts seulement aux extrémités et les tunnels qui ont des puits.

S'il y a des puits, ou s'il est possible d'en creuser, il est certain que leur force de tirage pourra être accrue remarquablement moyennant l'installation de foyers à charbon, distribués soit à la base, soit dans des points rationnellement fixés sur la hauteur des puits mêmes; mais des foyers, entendons-nous bien, qui soient alimentés avec de l'air tiré du tunnel, parce que si l'on prenait l'air de l'extérieur, comme celui-ci doit, après combustion, être débité par la cheminée, on risquerait de n'obtenir aucun avantage. En effet, tandis que d'un côté on augmenterait, avec le foyer, le tirage du puits, de l'autre côté on en diminuerait la section utile en destinant une partie de celle-ci à l'écoulement des produits de la combustion.

Si, au contraire, il s'agit de tunnels communiquant avec l'extérieur uniquement par le moyen des extrémités, il est facile de prouver qu'avec les foyers à combustible ordinaire, les conditions de la respirabilité de l'air s'empireraient de manière que, même avec le secours apporté par une ventilation plus active,

les conditions générales de l'aérage s'empireraient aussi, au lieu de s'améliorer, par rapport aux besoins auxquels il doit satisfaire.

Pour mettre en évidence la vérité de ce que nous venons de dire, il suffira de considérer que les foyers alimentés par du combustible ordinaire et distribués dans l'intérieur du tunnel produisent deux effets contraires. En augmentant la température moyenne de la colonne d'air intérieur, ils accroissent aussi la vitesse du mouvement, et, par conséquent, le renouvellement sera accéléré; mais en même temps les foyers eux-mêmes, par l'acide carbonique et les autres produits délétères qu'ils versent dans l'atmosphère, empirent fortement les conditions de celle-ci et ils engendrent par conséquent le besoin d'appeler de l'extérieur une plus grande quantité d'air pour dissoudre les nouveaux gaz irrespirables. En d'autres termes, nous avons sans doute un débit d'air plus actif et plus abondant, mais nous aurons aussi une plus grande quantité d'air à débiter. Il suffira donc que cette augmentation dans le volume d'air à expulser soit plus grande que l'augmentation obtenue dans le débit par effet de la nouvelle température pour que le bénéfice promis par les foyers se change en un véritable dommage.

Et c'est réellement de cette manière que le phénomène se produit. Nous savons en effet que le volume des produits irrespirables de la combustion est directement proportionnel au poids du combustible que l'on brûle, et par conséquent à l'augmentation de température donnée par les foyers. Si donc, pour obtenir l'accroissement de 1 degré, il est nécessaire d'engendrer un volume v d'acide carbonique pour des accroissements de 2.3,..... degrés, il faudra produire $2v$, $3v$,..... de ce gaz : et par suite l'on devra appeler de l'extérieur, pour dissoudre ces quantités, des volumes d'air croissant dans la même proportion, c'est-à-dire augmenter proportionnellement la vitesse de régime du courant.

Mais, d'autre part, la formule qui nous donne cette vitesse de régime, en fonction des données géométriques et thermiques du tunnel, nous apprend qu'elle est proportionnelle, non pas à la première puissance, mais à la racine carrée de l'excès de la température intérieure sur la température extérieure.

Tandis donc que les foyers mettront le souterrain dans la nécessité de donner passage à un nouveau volume a d'air, ils n'arriveront d'autre part à augmenter la puissance du tirage que dans la proportion de \sqrt{a}

Il se comprend donc, pour peu que l'on veuille accroître la température intérieure, qu'il arrive de suite que les augmentations dans le tirage ne soient plus en mesure de pourvoir seulement à l'augmentation d'aérage nécessaire par

suite des nouveaux gaz délétères. Il s'ensuivra, par conséquent, une aggravation dans les conditions de la ventilation qu'on voulait améliorer avec les foyers.

Un exemple numérique sur un cas spécial nous donnera une idée exacte de l'importance du phénomène.

Nous avons vu dans la première partie de ce mémoire que, pendant les fortes chaleurs de l'été, dans le tunnel du Fréjus, la ventilation naturelle devient insuffisante : la vitesse de régime du courant descend alors jusqu'à 0^m68 par seconde, tandis qu'elle devrait être de 1^m58 au moins pour pouvoir appeler de l'extérieur tout le volume d'air pur qui est nécessaire pour dissoudre les produits de la combustion des locomotives et les mettre en situation de n'être plus nuisibles à la respiration.

Supposons donc que nous nous trouvions dans ces circonstances, qui sont celles dans lesquelles le besoin du secours de la ventilation artificielle se fait le plus sentir ; et proposons-nous de faire augmenter, au moyen de foyers, la vitesse jusqu'à la limite de 1.58.

Déterminons avant tout quelle augmentation il faudra apporter à la température moyenne intérieure pour obtenir l'accroissement voulu dans la vitesse de régime ; et nous verrons ensuite dans quel rapport se trouverait l'augmentation dans le tirage, ainsi engendrée, et celle qui sera nécessaire pour dissoudre les nouveaux gaz produits par les foyers.

Au moyen de la formule [2] qui donne la vitesse de régime, si nous supposons que la température extérieure soit, dans les plus grandes chaleurs, $T = 273^{\circ} + 20^{\circ}$, nous trouverons qu'au Fréjus pour obtenir les vitesses de 0^m68 et 1^m58, les températures absolues correspondantes devront être à l'intérieur : $273^{\circ} + 22^{\circ}$ et $273^{\circ} + 31^{\circ}56$: c'est-à-dire que pour passer de l'une à l'autre vitesse, il faut augmenter de 9[°]56 la température intérieure.

Or, si l'on tient compte qu'à ces températures le poids de 1 mètre cube d'air est de 1^k29 à peu près, et que sa chaleur spécifique est de 0.24 de calorie, il s'ensuit que pour élever de 1 degré la température de 1 mètre cube d'air, il faudra lui donner un nombre de calories égal à $1.29 \times 0.24 = 0.31$. Par conséquent, pour élever de 9[°]56 la température de toute la masse d'air du tunnel, qui est de 502,000 mètres cubes environ, il sera nécessaire de donner à cette masse la somme de calories :

$$9.56 \times 0.31 \times 502,200 = 1.486,000.$$

Avec la vitesse de 1^m58 par seconde, la colonne d'air, pour se renouveler com-

plètement, a besoin de $\frac{12240}{1.85} = 7,740$ secondes. Cette colonne emporte donc avec elle et disperse ensuite dans cette période de temps toute la chaleur qu'elle a reçue et qu'il faudra par conséquent renouveler. Ce qui veut dire que dans chaque heure on devra donner à l'air du tunnel une somme de calories égale à $1,486,000 \frac{3600}{7740} = 691,200$.

Une partie de cette chaleur sera absorbée par conductivité à travers les parois de la galerie. Nous n'avons pas de données ni de coefficients pour calculer cette perte. Toutefois, pour en tenir compte de quelque manière, nous supposerons qu'elle soit de 30 p. c., ce qui probablement sera encore inférieur à la réalité. Nous arrivons ainsi à trouver qu'il faudra, dans chaque heure, produire et verser dans l'atmosphère du tunnel une quantité de calories que l'on peut évaluer à 899,000, et que pour les produire il faudra brûler un poids de houille donné par $\frac{899000}{7000} = 128.40$.

Ce poids de combustible, que nous supposons contenir 88 p. c. de carbone pur, produira un volume d'acide carbonique de $128.40 \times 1.61 = 207 \text{ m}^3$, pour dissoudre lesquels, avec la proportion de 1 mètre d'air pour 1 1/2 litre d'acide, il sera nécessaire d'appeler de l'extérieur un volume de 138,000 mètres cubes par heure.

Mais, d'autre part, l'augmentation effective dans le volume d'air appelé que l'on peut obtenir par l'accroissement de vitesse produit par le réchauffement, sera seulement de

$$(1.58 - 0.68) 3,600 \times 41 = 132,840 \text{ m}^3.$$

Et voilà donc comme l'augmentation dans le tirage sera inférieure au besoin, et comme, par conséquent, dans notre cas, les foyers empireraient les conditions de l'aérage. Et cela sans compter les dépenses en pure perte pour l'installation et pour l'actionnement des foyers.

Par conséquent, il faut conclure que les foyers seront utiles seulement dans les cas où on peut les installer à la base ou à l'intérieur des puits de ventilation, c'est-à-dire de manière que les gaz délétères produits par la combustion ne puissent jamais se mêler à l'atmosphère de la galerie, et dans ces cas l'efficacité des puits sera proportionnelle à l'activité du foyer.

Au contraire, le problème de la ventilation d'un tunnel quelconque pourra toujours être résolu de la meilleure manière que l'on voudra, que l'on ait besoin d'un aérage complet dans tout le tunnel, ou qu'il ne s'agisse que de

mule [10], ce procédé pourra être appliqué seulement dans les cas où il est possible de compter sur une certaine constance dans le rapport $\frac{\theta}{T}$ des températures intérieure et extérieure. Mais cette constance le plus souvent n'existera pas. Et alors il vaudra mieux ne tenir aucun compte de la valeur trop variable de $\frac{\theta}{T}$, supposer, au contraire, qu'on ait toujours $\theta = T$, et fixer la position de la bouche du ventilateur comme on ferait si la colonne d'air intérieur du tunnel avait un poids spécifique identique à celui de l'air extérieur, et n'avait, par conséquent, aucune tendance à se mouvoir ni dans un sens, ni dans l'autre. Dans ce cas, il est évident que le centre naturel des tirages se confond avec le centre du tunnel, tant lorsque la différence de niveau entre les débouchés du tunnel est nulle que si elle a une valeur finie quelconque.

Cette conclusion, d'autre part, découle aussi de nos formules. En effet, si dans la formule [10] nous supposons $\theta = T$, comme a est par hypothèse une quantité finie, on déduit que h doit être infini. Or, si nous portons cette condition de $h = \infty$ dans [5], nous trouvons $x = \frac{L}{2}$ par effet d'un raisonnement inverse à celui qui, dans la même équation, nous a donné $h = \infty$, pour $x = \frac{L}{2}$.

Dans le plus grand nombre de cas donc, lorsqu'il s'agit de l'installation d'un ventilateur, pour lequel la dépression engendrée à la bouche d'aspiration est toujours une quantité indépendante des oscillations des températures, il conviendra de supposer que le centre naturel des tirages soit le centre même du tunnel et de fixer en ce point un des trous d'extraction.

Si le trou d'extraction est seul, il n'y aura plus qu'à déterminer ses dimensions de manière que, avec la hauteur de charge préalablement fixée, il puisse débiter, dans chaque unité de temps, le volume d'air nécessaire pour engendrer dans le tunnel la ventilation voulue.

Mais si, en outre de la bouche principale, il paraît convenable de percer et de faire fonctionner d'autres bouches encore, et il conviendra évidemment de le faire pour des considérations d'économie dans l'installation et dans l'exploitation, toutes les fois que la chose sera possible, ces nouvelles bouches devront être distribuées d'un côté et de l'autre de la première, et proportionnées, tant en section qu'en force d'aspiration, de manière à former une somme de tirages symétriques par rapport au tirage central.

Cette distribution rationnelle des trous d'air devra être réglée par les mêmes considérations et les mêmes raisonnements que nous avons développés pour les puits secondaires par rapport au puits principal.

Les éléments géométriques et dynamiques de chaque trou d'air et les positions correspondantes étant fixés de cette manière, il ne sera pas difficile, en tenant compte des hauteurs de charge qui seront consommées par les frottements contre les parois des conduits d'aspiration intermédiaires, de déterminer les dimensions du ventilateur ou des ventilateurs qu'il sera nécessaire d'installer.

Pour ce qui tient à l'emplacement qu'il sera utile de choisir pour les mécanismes de ventilation, il n'est possible de rien dire d'absolu en thèse générale. Tout dépendra des circonstances locales, de la position des points dans lesquels on aura la force motrice disponible, des difficultés plus ou moins grandes qu'il faudra vaincre et des dépenses plus ou moins fortes qu'il faudra faire pour creuser les conduites d'aspiration aboutissant aux trous d'air dans l'intérieur du tunnel. Naturellement, dans chaque cas spécial, parmi toutes les solutions possibles, on devra donner la préférence à celle qui aura la moindre longueur de conduits secondaires, parce que de cette manière, tandis qu'on réduira les frais d'installation, on réduira de même les frais d'exploitation.

En général, il ne conviendra pas d'avoir recours à la solution la plus naturelle qui consisterait à se servir, pour conduites d'aspiration, de tuyaux installés dans l'intérieur de la section du tunnel, parce que ces tuyaux, qui devraient en tout cas avoir des dimensions très fortes (deux et même trois mètres de diamètre), occuperaient un emplacement qui rarement sera disponible dans ce souterrain ; sans compter qu'en restreignant ainsi la section du tunnel, on en empirerait évidemment les conditions d'habitabilité.

On aura, au contraire, une bonne solution en creusant des conduits parallèles au tunnel et extérieurs à la section, soit sous le ballast, dans lequel cas ils pourront servir aussi comme collecteurs des eaux d'infiltration, soit à côté des pieds-droits. Naturellement, ces conduits devront être de dimensions telles que la hauteur de charge consommée par le frottement et par les autres résistances passives ne soit pas exceptionnelle. La somme qu'on devra dépenser pour leur construction sera largement compensée par les économies de force motrice et par l'efficacité du fonctionnement de l'installation.

Parmi les ventilateurs connus aujourd'hui, il paraît qu'il faut préférer les ventilateurs aspirants, à force centrifuge, système Guibal, qui dans plusieurs installations grandioses, faites dans ces dernières années, se comportent très bien en donnant un excellent rendement.

Les deux chantiers de ventilation qu'on vient de construire en Angleterre pour les tunnels livrés en 1886 à la circulation des trains sous les fleuves de la

Severn et de la Mersey, sont vraiment dignes d'être mentionnés d'une manière spéciale et d'être étudiés.

Le tunnel sous la Severn est établi sous l'embouchure de ce fleuve, et met en communication directe la ville de Bristol avec celle d'Aberdan, située au sud du Pays de Galles.

La longueur totale du souterrain et de ses approches est de 9 kilomètres; celle du tunnel proprement dit est de 7,250 mètres, sur lesquels 3,620 mètres sont situés sous le fleuve; le tunnel est à deux voies, et il a une section de 40 mètres carrés. Les deux embouchures étant à peu près au même niveau, et la température moyenne intérieure n'étant guère différente de celle extérieure, puisque le point le plus bas du tunnel n'est qu'à 43 mètres sous les eaux basses, aucune aération naturelle n'était possible. Il a donc fallu y pourvoir artificiellement avec l'installation d'un grand ventilateur d'aspiration système Guibal, de 12^m20 de diamètre, capable de débiter 114 mètres cubes par seconde, ce qui fait que la colonne d'air peut être entièrement renouvelée dans une période de quarante-deux minutes; et comme le trou pour l'aspiration de l'air est fixé à peu près au milieu du tunnel, il s'ensuit que chacun des deux tronçons est parcouru par un courant de 1.425 mètre par seconde. Dans ces conditions, en supposant que la consommation de combustible pour chaque train-kilomètre soit de 14 kilogrammes, et si l'on exige, d'autre part, que la proportion des produits irrespirables, tels que l'acide carbonique, ne monte pas au delà de deux litres pour chaque mètre cube d'air (y compris naturellement les $\frac{5}{10000}$ d'acide carbonique que l'air ordinaire contient toujours), le souterrain de la Severn est en mesure de donner passage à nonante-deux trains environ dans les vingt-quatre heures, sans que son atmosphère puisse d'aucune manière devenir nuisible à la respiration.

On peut donc conclure que l'installation faite pour le tunnel de la Severn est suffisante pour garantir une excellente ventilation, même si le mouvement des trains prenait une importance exceptionnelle.

Un autre exemple de très puissante et de très rationnelle installation pour un aérage artificiel est celui du tunnel sous la Mersey. Le tunnel sous la Mersey, entre Liverpool et Birkenhead, a une longueur de 1,206 mètres entre les quais sous le fleuve proprement dit, et avec les approches une longueur totale de 4,000 mètres environ. Les embouchures sont à peu près au même niveau, et le point le plus bas n'est surbaissé que de 39 mètres. Le souterrain est à deux voies, et il a une section de 39 mètres carrés.

Dans cet état de choses, de même que dans le tunnel sous la Severn, aucune ventilation naturelle n'était possible. D'autre part, ce tunnel, — qui devenait comme une artère de communication entre la ville principale de Liverpool, qui a 550,000 habitants et 30 kilomètres de longueur de quais sur le fleuve et son faubourg de Birkenhead ayant 85,000 habitants et 15 kilomètres de quais, — aussitôt livré à la circulation des trains, devait être mis en mesure de lutter victorieusement, comme transport de voyageurs, avec les bacs de la Mersey qui faisaient un excellent service. Il fallait donc que le souterrain fût établi dans des conditions d'hygiène ne pouvant pas subir une comparaison désavantageuse avec la traversée en bateau, qui permet au passager de profiter de l'air libre et pur ; il fallait donc n'avoir ni humidité, ni suintement, ni odeurs, ni fumée, etc. Éliminer tous ces inconvénients et donner au tunnel la meilleure des ventilations possible, c'est le problème que se sont proposé les auteurs du projet, et ils l'ont résolu dans les conditions suivantes :

En supposant les trains espacés de cinq en cinq minutes dans toute la période des vingt-quatre heures de la journée, ils ont fixé la quantité de combustible consommé à 12 kilogrammes par minute, ce qui donnait lieu à un dégagement de 19^m350 de gaz irrespirables, et pour les diluer ils ont trouvé qu'il fallait introduire de l'extérieur dans le tunnel 13,000 mètres cubes d'air pur.

Pour arriver à ce résultat, on a installé deux chantiers de ventilation à proximité des deux quais. Dans chaque poste, on plaça un ventilateur système Guibal, avec obturateur Walker, de 12^m20 de diamètre et 3^m34 de largeur et un autre de 9^m15 et 3^m04 .

Chaque ventilateur est affecté au service d'un tronçon du tunnel, avec lequel il est mis en communication par le moyen d'une conduite circulaire de 2^m13 de diamètre parallèle au tunnel, et qui s'ouvre sur le tunnel même par les bouches d'aspiration convenablement distribuées dans des points différents.

Chaque ventilateur est mis en mouvement par deux moteurs système compound, une machine horizontale à condensation et comme réserve une machine verticale à haute pression, accouplées directement sur l'axe du ventilateur, de sorte que la substitution d'une machine à l'autre peut s'opérer dans un temps très court. Ainsi on a éliminé tout danger de suspension, même temporaire, dans la ventilation.

D'après des expériences faites en maintes circonstances sur le régime de fonctionnement des deux chantiers d'aspiration, on aurait trouvé que le cube d'air

vicié extrait par les quatre ventilateurs est de 16,400 mètres à la minute. Ce qui prouverait que l'on a largement atteint le but que les auteurs du projet se sont proposé.

Nous ne connaissons à présent, ni en Europe, ni en Amérique, aucune autre application grandiose de ventilation artificielle complète dans des tunnels pour chemins de fer, application qui soit comparable aux deux exemples dont nous venons de donner une idée sommaire. Mais ces deux exemples, si bien réussis, sont suffisants pour nous prouver que, dans quelque cas que ce soit, avec un ou plusieurs chantiers de ventilateurs convenablement proportionnés, il sera toujours possible d'engendrer un aérage aussi actif qu'il sera nécessaire.

Heureusement, le besoin de l'aérage artificiel ne devient vraiment impérieux et absolu que lorsqu'il s'agit de souterrains très longs qui doivent livrer passage à un nombre journalier de trains très grand. Or, les souterrains très longs parcourus par des trains fort nombreux sont très rares. Au Fréjus, au Gothard, à l'Arlberg, qui pour le moment sont encore les tunnels les plus longs, le nombre journalier des trains n'est pas supérieur à 35. Dans ces conditions, un aérage artificiel complet pour tout le souterrain, qui serait certainement utile, surtout au Fréjus, n'est pas encore nécessaire d'une manière absolue.

Certainement, si le mouvement augmente, il faudra y pourvoir de quelque manière. Malheureusement, comme on n'y a pas pensé pendant la construction du tunnel, la chose sera, à présent, bien difficile. Nous avons vu, en effet, qu'il n'y a aucun moyen rationnel et vraiment efficace en dehors des puits actionnés par des foyers, et des ventilateurs agissant sur la masse d'air du tunnel avec des conduits intermédiaires parallèles le plus souvent au tunnel même. Or, le creusement des puits dans les localités de la montagne où il faudrait les fixer sera un ouvrage certainement difficile et coûteux, et même dans quelques cas tout à fait impossible; de même le creusement et la construction des conduits pour les ventilateurs, qui sera toujours possible, se chiffrera par des sommes bien plus fortes que si le travail eût été exécuté en même temps que le tunnel principal.

Mais facile ou non, coûteux ou non, le jour où la nécessité l'imposera, l'ouvrage devra être fait.

Ces considérations ont, il me paraît, une importance si grave qu'on est entraîné à conclure qu'il est, non seulement utile, mais nécessaire de se préoccuper de la ventilation, et d'étudier les moyens de l'engendrer de la meilleure manière en même temps qu'on étudie le projet du tunnel.

Si le profil de la montagne permet le creusement de puits pour accélérer le travail de la percée, il faudra donner à ces puits les situations rationnelles indiquées par la théorie, situations qui mettront plus tard les puits en mesure de servir efficacement à l'aérage.

Si les puits ne sont pas possibles à cause de l'épaisseur du massif au-dessus de la galerie, il conviendra, au fur et à mesure qu'on avance dans le creusement et dans la construction du souterrain, de construire dans le sous-sol un conduit de section suffisante, qui, tandis qu'il servira de suite et toujours pour l'écoulement des eaux d'infiltration, pourra plus tard, lorsque le besoin s'en présentera, être utilisé comme conduit d'aspiration pour la ventilation.

Au Simplon, par exemple, quel que soit le tracé que l'on choisira, de 16 ou de 20 kilomètres, ce serait, il me paraît, une erreur impardonnable que de ne pas se préoccuper immédiatement des futures exigences de la ventilation. A ce qu'il paraît, les cheminées ne seront pas praticables dans les points du tunnel dans lesquels il faudrait les installer. La seule solution possible pour pouvoir garantir une bonne et constante ventilation sera celle des ventilateurs, dont les postes devront être installés aux deux embouchures. Il faudra donc construire, tout le long de la galerie dans le sous-sol ou à côté et en dehors des pieds-droits, un conduit dont la section maxima de 3.00×3.00 aux débouchés peut descendre jusqu'à un minimum de 1.50×1.50 . Dans ces conditions, il sera toujours possible, lorsque les circonstances l'imposeront, d'engendrer artificiellement dans le tunnel l'aérage que l'on voudra, sans pourtant être obligé à une dépense trop lourde pour activer les ventilateurs. En effet, avec les dimensions susindiquées pour le conduit, il suffira que la vitesse de l'air dans le conduit même soit quatre fois à peu près celle du courant dans le tunnel, ce qui veut dire que sa valeur pourra rester dans les limites de 8 mètres par seconde; et alors, en tenant compte du rapport relativement faible du périmètre à l'aire de la section du conduit, la hauteur de charge consommée par les résistances passives ne sera pas extraordinaire, et par conséquent, la force motrice pour actionner les ventilateurs ne sera pas excessive.

D'autre part, les frais du travail supplémentaire pour la construction du conduit n'atteindront pas des chiffres trop élevés, parce qu'enfin il ne s'agit que de donner plus d'importance au conduit que l'on doit toujours faire pour les eaux; et même, si l'on veut, et la chose sera presque toujours possible, on pourra réduire de quelque peu la section du tunnel, en faisant, par exemple,

la voûte surbaissée, et en consacrant à la construction du conduit les économies qu'on réalisera dans la galerie principale.

Du reste, quels que soient ces frais, on ne trouvera jamais qu'ils sont exagérés si l'on pense qu'ils sont destinés à ce bien suprême qui est l'hygiène, et si l'on pense que les centaines de milliers de francs qu'on aura ainsi rationnellement dépensés pendant la construction, tiendront la place des millions qu'on devra dépenser plus tard.

Et je crois que le Congrès international de toutes les Compagnies de chemins de fer ferait une œuvre sage et digne de sa haute mission en engageant sa grande autorité auprès des gouvernements pour les persuader de la nécessité de n'approuver aucun projet de tunnel important, si le projet même ne contient pas les dispositions nécessaires pour établir une ventilation artificielle lorsque le besoin s'en présentera.

Ventilation artificielle partielle. — Lorsqu'en 1871 le tunnel du Fréjus fut livré à la circulation, on s'aperçut immédiatement que le courant naturel engendré par les conditions du tracé et des températures n'était pas suffisant, notamment dans l'été, pour faire évacuer assez rapidement la fumée des locomotives et pour maintenir toujours l'atmosphère en état de respirabilité. Mais on s'aperçut aussi, après avoir écarté l'idée des puits d'appel comme irréalisable, parce qu'il n'était pas possible de les creuser dans les endroits où il l'aurait fallu, après avoir rejeté l'idée du ventilateur agissant avec clôture d'une des extrémités, parce que la clôture était inconciliable avec les exigences de l'exploitation, on s'aperçut, dis-je, qu'on avait eu tort de ne pas se préoccuper, pendant la construction du tunnel, des futurs besoins de l'aérage, c'est-à-dire de ne pas avoir exécuté d'ouvrages préparatoires, tels surtout que des conduits d'appel pour les ventilateurs, qui alors auraient coûté relativement peu, et qui auraient plus tard rendu possible une ventilation complète.

Dans ces conditions, comme on n'avait pour le moment aucune intention d'entreprendre ces travaux qui, le tunnel achevé et en exploitation, auraient coûté énormément, comme d'ailleurs le besoin d'une ventilation complète n'était pas encore absolu, et comme d'autre part il fallait faire quelque chose, on décida d'utiliser les machines de compression, qui avaient servi à la percée, pour engendrer une ventilation partielle.

On s'avisa donc de remettre en fonction le chantier des compresseurs de Bar-donnèche qui avaient commandé les perforations, et de les utiliser pour refouler

de l'air pur et frais dans le tunnel. Ce chantier travaille encore à présent dans les conditions suivantes :

Sept groupes de compresseurs à pompe, système Sommélier, ayant chacun quatre pistons (0^m60 de diamètre, 1^m60 de course, 6 coups par minute) actionnés par des grandes roues hydrauliques système Poncelet, sont tenus continuellement en fonctions, et ils emmagasinent de l'air comprimé à six atmosphères dans des réservoirs métalliques. Un tuyau en fonte de 0^m15 de diamètre intérieur, qui parcourt tout le tunnel, prend l'air des réservoirs et en fait la distribution, avec des dérivations en plomb, aux robinets qui sont placés dans les chambres de refuge et dans les niches.

On conçoit immédiatement que ce système ne soit capable de donner au tunnel qu'une très petite quantité d'air tout en consommant une force très grande. 12 1/2 kilomètres de tuyaux de 15 centimètres de diamètre et toute la tuyauterie restante de 20 millimètres pour les embranchements doivent absorber en résistances passives la plus grande partie du travail moteur, de manière que, considéré au point de vue du renouvellement de l'air dans le tunnel, le système n'a aucune importance : il n'arrive en effet qu'à fournir 70 mètres par minute, tandis qu'il devrait en donner au moins le même volume par seconde.

Il est de même évident que pour obtenir par ce système un effet appréciable en rapport avec les besoins de l'aérage général, il faudrait augmenter le nombre et les dimensions des machines de compression dans une proportion extrêmement grande, et augmenter aussi les dimensions des conduits; mais, même dans ce cas, on continuerait à avoir une installation très mauvaise comme rendement, et qui, par conséquent, donnerait le mètre cube d'air à un prix très élevé.

Toutefois, telle qu'on la fait, cette fourniture d'air comprimé est très utile et très appréciée par le personnel de la voie, parce que les jets d'air pur servent à engendrer, au milieu de la fumée et des produits irrespirables, des atmosphères restreintes riches d'oxygène, vivifiantes, réfrigérantes, comparables, si le mot peut passer, aux oasis des déserts, où les agents peuvent se réfugier en cas de détresse, aller respirer et refournir leurs poumons d'oxygène.

Cette installation faite, on reconnut qu'elle était d'une grande utilité et qu'elle apportait des soulagements véritablement précieux au personnel. Mais on reconnut aussi que ce n'était pas assez. On était alors dans le commencement d'une exploitation tout à fait sans exemple : on n'avait pas d'agents pour un service de telle nature, nouveau et difficile, et on avait des difficultés à en trouver.

D'autre part, le mouvement des travées et par conséquent les mauvaises conditions de l'aérage augmentaient de jour en jour. En même temps, l'opinion publique dans le monde des voyageurs commençait à s'émouvoir à la suite de quelques inconvénients dont on avait grossi l'importance. Ce fut alors que la Compagnie de la Haute Italie se vit entraînée à prendre quelques autres dispositions dans le but d'améliorer, sinon en réalité, ce qui aurait été très difficile, du moins en apparence, les conditions d'aération du tunnel.

Il existait encore à cette époque, en 1873, dans des conditions de conservation assez bonnes, des aspirateurs qui avaient servi, pendant la perforation et le déblayage, à ventiler le tunnel. On y fit les réparations nécessaires et on les remit en activité. Voici de quelle nature sont ces mécanismes et de quelle manière ils fonctionnent encore à présent.

Quatre machines hydrauliques alimentées par une colonne d'eau de 70 mètres de hauteur de charge tiennent en mouvement quatre énormes pompes aspirantes dont les pistons à cloche ont 5 mètres de diamètre et battent sept coups par minute, avec une course verticale de 2 mètres. Les cylindres d'aspiration, qui forment gaine aux pistons, aboutissent à un conduit en maçonnerie de $0^m80 \times 0^m80$ de section qui parcourt le tunnel jusqu'à son point central, qui sert aussi pour l'écoulement des eaux d'infiltration et sur lequel sont percés de distance en distance des trous d'aspiration de $0^m30 \times 0^m45$.

On voit immédiatement que ces mécanismes, avec les dimensions qu'ils ont et dans les conditions où ils travaillent, ne sont pas du tout en relation avec la besogne qu'ils devraient remplir. Au maximum, lorsque toutes les machines sont en fonctions, ce qui n'arrive pas souvent, à cause des réparations très fréquentes dont elles ont besoin, elles peuvent extraire 12 mètres cubes d'air par seconde, ce qui n'a rien à faire avec les 70 qu'il faudrait chasser. En outre, les trous d'air n'étant pas convenablement réglés comme section les uns par rapport aux autres, il arrive que les premiers, c'est-à-dire ceux qui sont plus rapprochés de l'embouchure du tunnel, fournissent à eux seuls presque toute la quantité d'air appelé par les machines, de façon qu'il n'y a presque plus aucune aspiration vers le milieu du tunnel, savoir dans les points où l'aspiration serait le plus nécessaire. Pourtant on ne peut pas dire que les aspirations soient tout à fait inutiles, et la Compagnie de la Méditerranée continue à les tenir en activité soit parce qu'elle ne peut pour le moment rien faire de mieux, soit pour l'effet moral que les aspirateurs en fonctions ont toujours produit sur le personnel qui fait le service dans le tunnel.

Les frais de toute espèce occasionnés par l'actionnement de ces deux postes de refoulement d'air de Bardonnèche et d'aspiration de Modane montent à une trentaine de mille francs par an.

Il est certain qu'on ne dépenserait pas davantage et que l'on pourrait avoir une ventilation complète et parfaite dans tout le tunnel avec des ventilateurs suffisamment puissants, si pendant la construction du tunnel on avait préparé les conduits nécessaires.

En dehors du tunnel du Fréjus, nous ne connaissons aucun autre souterrain pour chemins de fer auquel il soit appliqué un système d'aérage artificiel partiel avec des mécanismes pour extraction de l'air vicié ou pour refoulement d'air pur. Mais l'exemple dont nous venons de donner une description sommaire, prouve que le mètre cube d'air extrait ou refoulé revient toujours à un prix très élevé, certainement de beaucoup plus élevé qu'avec une installation rationnelle pour aérage complet; que les avantages apportés par la ventilation partielle sont bien faibles en comparaison des dépenses; que l'aérage partiel ne doit être considéré que comme un pis-aller; et que toutes les fois que la chose sera matériellement possible, il conviendra d'y substituer la ventilation complète.

Sur ce point de l'aérage partiel, il nous reste à dire quelque chose des appareils portatifs.

Il y a une quinzaine d'années, sur le chemin de fer de Lyon, les mécaniciens et les chauffeurs des trains de marchandises, sur la section d'Alais à la Bastide, avec des machines à 8 roues accouplées, éprouvèrent souvent des malaises au passage des souterrains, notamment dans celui d'Albespeyre.

Ces malaises provenaient de la faible section des souterrains relativement à la production des gaz délétères qui viciaient l'atmosphère. Pour parer à cet inconvénient, M. Galibert a inventé un appareil respiratoire, composé essentiellement d'une caisse en tôle, à deux compartiments de 250 litres chacun, placée au-dessus de la plate-forme de la machine. De chacun des compartiments partait un tube en caoutchouc terminé par une embouchure.

Le mécanicien et le chauffeur, au passage du souterrain, prenaient chacun dans leur bouche une embouchure, aspiraient l'air de la caisse, et y renvoyaient les produits de l'expiration. Un pince-nez les empêchait d'aspirer par le nez. Le renouvellement de l'air dans la caisse se faisait au moyen de l'aspirateur Giffard.

Je n'ai pu connaître les résultats des essais que l'on fit avec cet appareil sur le chemin de Lyon. Il est probable que ces résultats n'ont pas été trop satis-

rain, et proportionnés en section selon les indications que nous avons développées, de manière à engendrer des courants concourant tous au même but sans se troubler les uns les autres.

3° Il est de la plus haute importance que la question de la ventilation complète et régulière dans les grands tunnels soit étudiée en même temps que l'on fait le projet du souterrain, et il serait à désirer que dorénavant les gouvernements ne donnassent jamais leur approbation à aucun de ces projets s'ils ne contiennent pas les dispositions nécessaires pour établir dans les meilleures conditions possible une ventilation artificielle uniforme et complète.

4° L'aération partielle ne doit être considérée que comme un expédient de pis-aller; ses avantages sont toujours très restreints, si l'on tient compte des frais qu'elle occasionne, et, par conséquent, on n'y doit avoir recours que lorsqu'une installation pour ventilation complète n'est pas possible.

5° Enfin, pour ce qui tient aux appareils portatifs, qui ont pour but de donner, autant qu'il est possible, de l'air pur et frais au personnel de la voie et des machines, on n'a jusqu'à présent rien inventé qui soit d'une utilité indiscutable. La question a besoin encore d'être étudiée; et il est par conséquent utile que les Compagnies qui ont un intérêt spécial à la résolution de ce problème, continuent à faire sur une large échelle des expériences sur les appareils qui ont déjà donné des résultats heureux dans des essais restreints.

Turin, le 15 juillet 1889.

NOTE

PAR

L'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GOTHARD

PLANCHES VII ET VIII

LES CONDITIONS AÉRO-THERMALES DANS LE GRAND TUNNEL DU SAINT-GOTHARD.

Au début de l'exploitation dans le tunnel du Saint-Gothard, on ne savait pas encore d'une manière certaine si l'aération et la ventilation constantes et régulières du souterrain seraient possibles sans l'emploi de moyens artificiels.

Afin d'acquiescer pleine certitude en même temps que des données sûres à ce sujet, la Direction du chemin de fer du Gothard fit procéder à des observations sur la température et les déplacements de l'air du tunnel, ainsi que sur son contenu en fumée; ces observations furent continuées après l'ouverture de la ligne entière à l'exploitation; dans ce but, on avait placé un thermomètre dans chacune des chambres pratiquées dans le tunnel à environ un kilomètre l'une de l'autre.

Les gardes spéciaux partant simultanément des gares de Göschenen (nord) et Airolo (sud) à intervalles réguliers de huit heures pour se rencontrer au milieu du tunnel, faisaient chaque jour (c'est-à-dire dans l'espace de vingt-quatre heures) trois constatations et relevaient :

- a) La température :
- b) La direction et la force du courant d'air, et
- c) L'intensité de la fumée contenue dans l'air du tunnel.

En même temps, on observait aussi les conditions de l'air extérieur aux stations météorologiques fédérales d'Airolo et de Göschenen qui existaient déjà durant la construction.

Pour consigner leurs observations, les gardes étaient munis de carnets *ad hoc*; à la fin de chaque mois, on en détachait les feuillets écrits qui étaient livrés au piqueur ou bien à l'ingénieur de la voie et transmis successivement par ces derniers à l'ingénieur en chef qui faisait, dans ses bureaux, reproduire graphiquement les relevés quotidiens. Au bout de l'année, la Direction du Gothard envoyait toutes ces représentations graphiques au Département fédéral des chemins de fer.

Nous allons récapituler les résultats fournis par les observations.

- a) *Température.* — Pour représenter les températures maxima et minima observées par les

gardes-tunnel de 1883 à 1887, nous avons procédé comme suit : de chacun des six mois d'hiver : janvier, février, mars, octobre, novembre, décembre et des six mois d'été : avril à septembre inclusivement, on a porté sur les tableaux graphiques (pl. VII) les jours pendant lesquels, dans la chambre 1 (1 kilomètre de la tête nord) et dans la chambre 14 (1 kilomètre de la tête sud) régnaient les températures minima et maxima avec courant d'air du nord (—) ou courant d'air du sud (— — —). De plus, on a encore choisi et inscrit un jour (.....), durant lequel le courant du nord alternait avec celui du sud, et en marge se trouvent indiquées les températures observées aux stations de Göschenen et d'Airolo. Par exemple : pendant la période estivale (avril-septembre) de 1883, le minimum dans la chambre n° 1 sous l'influence d'un courant d'air du nord s'est produit le 12 avril et le maximum à la date du 30 mai; dans la chambre n° 14 avec courant d'air du sud : minimum le 2 avril, maximum le 12 juillet; le 10 septembre, il y avait alternatives de courant nord et de courant sud.

En examinant les tableaux-annexes qui donnent les maxima et minima pour l'ensemble de la période d'observations, on remarque immédiatement que la ligne thermale monte successivement vers le milieu du tunnel avec le courant d'air venant de l'extérieur et dans la direction de celui-ci, pour ensuite conserver pendant plusieurs kilomètres au delà du centre le degré de température qui y règne et enfin baisser plus ou moins rapidement selon la température de l'air extérieur à l'embouchure du souterrain.

Il ressort des dix tableaux graphiques des maxima et minima et de la table des températures relevées dans le milieu du tunnel, que durant les six années d'observations de 1883 à 1888, le maximum annuel n'a éprouvé que de faibles oscillations et n'a pas diminué, tandis que le minimum annuel pour le même point a baissé d'année en année, à savoir de 16°4 le 2 mars 1883 à 14°5 le 8 janvier 1888.

Il sera bon de rappeler ici que pendant les travaux de percement du tunnel du Saint-Gothard, la température moyenne de l'année dans la galerie de direction et au front d'attaque comportait les valeurs ci-dessous (en degrés centigrades) :

| Du côté de Göschenen : | | 1876. | 1877. | 1878. | 1879. | 1880. |
|----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pendant la perforation | | 19.4 | 21.1 | 24.0 | 26.4 | 30.3 |
| — le déblayage | | 20.8 | 23.4 | 26.0 | 29.3 | 31.2 |
| Du côté d'Airolo : | | | | | | |
| Pendant la perforation | | 23.1 | 25.0 | 25.8 | 28.2 | 29.3 |
| — le déblayage | | 26.6 | 28.5 | 29.3 | 30.7 | 31.0 |

Immédiatement avant la rencontre des deux galeries de direction (29 février 1880), la température moyenne de l'air dans celles-ci et au front d'attaque était :

| Du côté de Göschenen : | | |
|----------------------------------|--|------|
| Pendant la perforation | | 26°6 |
| — le déblayage | | 29°9 |
| Du côté d'Airolo : | | |
| Pendant la perforation | | 29°2 |
| — le déblayage | | 31°6 |

Il faut observer que pendant les derniers mois qui ont précédé la rencontre des galeries de

direction, on a comprimé dans celles-ci un volume d'air beaucoup plus considérable qu'auparavant, mais malgré cela la température de l'air durant la perforation n'a pu être abaissée en moyenne que de 1°7 au-dessous de celle de la roche.

Cette dernière comportait en février 1880 :

30°6 à 7,635 mètres de la tête nord, l'épaisseur du massif au-dessus de la galerie étant de 1,704 mètres;

29°4 à 7,041 mètres de la tête sud, l'épaisseur du massif au-dessus de la galerie étant de 1,480 mètres.

La température moyenne de la roche dans tout le souterrain était primitivement de 23°43; la température moyenne de l'air dans tout le souterrain également était le 29 février 1880, après la rencontre des galeries, de 21°69, de 19°3 le 11 février 1881 et de 14°15 le 11 février 1882. Ces chiffres, qui se rapportent au même mois de trois années consécutives, prouvent d'une manière évidente l'abaissement de la température moyenne dans toutes les parties du tunnel.

Depuis l'ouverture de la ligne à l'exploitation, on a procédé à de nouvelles observations de la température de la roche, dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

| DATES DES OBSERVATIONS. | A 7,300 mètres de distance de la tête nord, trou de 1 mètre de profondeur à 1 mètre au-dessus du niveau des traverses. | | A 7,050 mètres de distance de la tête sud, trou de 1 ^m 10 de profondeur à 1 mètre au-dessus du niveau des traverses. | |
|-----------------------------------|--|--------------------------|---|--------------------------|
| | Température moyenne de l'air au point d'observation. | Température de la roche. | Température moyenne de l'air au point d'observation. | Température de la roche. |
| Juillet 1882 | 20°10 | 23°9 | 21°0 | 24°5 |
| Juillet } 1885 | 19°65 | 22°2 | 20°6 | 23°0 |
| Août } | | | | |
| Abaissement | " | 1°7 | " | 1°5 |

b) *Déplacement de l'air.* — Les relevés des gardes-tunnel à cet égard portent sur la direction et la force du vent dans le tunnel; en d'autres termes, les gardes avaient à noter si, au moment de l'observation et près de la chambre où ils étaient postés, le souterrain était parcouru par un courant d'air faible, ordinaire ou fort, si le courant venait du nord ou du sud et enfin s'il y avait absence totale de courant.

Le courant d'air naturel à travers le tunnel résulte de la différence des pressions atmosphériques sur les deux versants du Saint-Gothard, pressions qui varient avec la hauteur du baromètre, la température et l'humidité. Le courant vient du côté où règne la plus forte pression et croît comme la racine carrée de la différence entre les deux pressions.

La colonne d'air de 36 mètres dans le souterrain (Goeschenen, 1,106 mètres; Airola, 1,145 mètres

au-dessus du niveau de la mer) peut augmenter ou diminuer la vitesse du courant d'air, selon qu'elle est plus légère ou plus lourde que l'air extérieur et suivant que le courant se dirige du nord au sud ou bien en sens inverse. La résistance au déplacement de l'air provient, d'une part, de la dilatation de l'air venant de l'extérieur et se réchauffant au contact de l'air du tunnel, et, d'autre part, des frottements. •

Le tableau ci-dessous indique le nombre de jours pendant lesquels, dans les cinq années d'exploitation de 1883 à 1887 et par suite de la combinaison de la pression atmosphérique, de la température et de l'humidité, il régnait dans le tunnel un courant d'air du nord, un courant d'air du sud ou des alternatives rapides de courants du nord et du sud. Il va sans dire que dans ce dernier cas chaque changement est précédé d'un calme de quelque durée; jusqu'ici, cependant, ces absences de tout courant d'air ne se sont jamais prolongées au delà d'une demi-journée environ; fréquemment même il s'est produit de brusques sautes de vent du nord au sud ou inversement.

| ANNÉES D'OBSERVATIONS. | Nombre de jours avec courant d'air du nord. | | Nombre de jours avec courant d'air du sud. | | Nombre de jours avec al- ternatives de courants d'air du sud et du nord. | |
|---------------------------|--|------|---|------|--|------|
| | Hiver. | Été. | Hiver. | Été. | Hiver. | Été. |
| 1883. . . . | 70 | 75 | 45 | 29 | 66 | 80 |
| 1884. . . . | 60 | 82 | 56 | 42 | 67 | 59 |
| 1885. . . . | 51 | 80 | 64 | 35 | 67 | 68 |
| 1886. . . . | 55 | 70 | 60 | 54 | 67 | 59 |
| 1887. . . . | 65 | 79 | 45 | 40 | 72 | 64 |

N. B. Les mois d'hiver sont : janvier, février, mars, octobre, novembre et décembre; les mois d'été, ceux d'avril à septembre inclusivement.

Il ressort de ce tableau que durant l'été, le courant du nord prédominait notablement, qu'en hiver le courant se répartissait assez également sur la direction nord et sud et que la différence entre le nombre de jours d'été et celui de jours d'hiver avec alternatives de courants nord et sud, est tout à fait minime.

Il n'a pas été possible de démontrer si le vent régnant aux extrémités du tunnel influe sur la direction et la force du courant d'air dans le souterrain; il a été reconnu d'autre part qu'un train agissant pour ainsi dire comme piston dans le tunnel n'est pas capable de produire sur le courant venant en sens inverse d'autre effet qu'un contre-courant de peu de durée.

c) *Fumée.* — Les tableaux ci-annexés (pl. VIII) représentent la répartition de la fumée à l'intérieur du souterrain avec l'indication du nombre respectif de jours durant les mois d'été et d'hiver.

On a pris pour base les observations faites par les gardes, près de chaque chambre du tunnel,

sur la présence et l'intensité de la fumée; à ce sujet, il faut remarquer que par fumée passagère on entend généralement celle produite par un train en marche ou celle qui rampe à la voûte, que la fumée se maintenant une demi-journée est due essentiellement, et celle se maintenant toute la journée est due partiellement à des courants alternants, mais qu'elle provient surtout d'un courant constant, venant du même côté et faible. C'est cette dernière cause qui explique pourquoi le nombre de jours entiers avec fumée est le plus considérable aux approches des embouchures et pourquoi ce nombre, à la tête sud, est plus fort dans la proportion approximative de l'excédent des jours avec courant du nord sur ceux avec courant du sud.

Les jours où règnent des courants faibles ou alternants sont naturellement, pendant l'intervalle du maximum de la circulation des trains, ceux durant lesquels les conditions sont le plus défavorables pour les personnes appelées à parcourir le tunnel ou à y séjourner; comme cependant la fumée se répartit, à ces jours également, d'une manière assez uniforme sur une grande étendue, le personnel des gardes et des trains se trouvant momentanément dans le souterrain n'est pas entravé dans l'exercice de ses fonctions, bien qu'il soit plus ou moins incommodé par la fumée.

D'ailleurs, toute personne qui traverse le tunnel du Saint-Gothard peut se convaincre que les voitures dont les fenêtres sont *fermées* ne renferment pas trace de fumée.

Pour tous les travaux, entretien de la voie, etc., à exécuter dans le tunnel, on tient compte de la direction du courant d'air et de la densité de la circulation des trains; c'est pourquoi, dans la règle, on réserve ces travaux pour la nuit, durant laquelle le tunnel n'est franchi que par deux trains express.

Les observations pratiquées depuis six années ayant démontré que la ventilation naturelle du tunnel du Saint-Gothard n'a jamais subi jusqu'ici la moindre interruption et qu'il ne s'est pas présenté un seul jour sans courant d'air *aucun*, le Département fédéral des chemins de fer nous a autorisés à cesser désormais, sauf dans certains cas exceptionnels, nos observations sur la présence et l'intensité de la fumée.

De nouvelles observations de la température et des courants d'air dans le tunnel ne seront d'ailleurs pas de nature à fournir de plus amples résultats que ceux obtenus jusqu'à présent et il semble préférable d'exempter entièrement de cette tâche le personnel des gardes, afin que celui-ci puisse vouer toute son attention à l'état de la voie et à ses autres attributions.

Lucerne, mars 1889.

L'ingénieur en chef,
(Signé) R. BECHTLE.

Annexe.

TUNNEL DU SAINT-GOTHARD.

Températures minima et maxima observées au milieu du tunnel (chambre n° 8).

| MOIS. | 1883. | | | 1884. | | | 1885. | | | 1886. | | | 1887. | | | 1888. | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|----|------|----|------|----|------|
| | Minima. | | Maxima. | Minima. | | Maxima. | Minima. | | Maxima. | Minima. | | Maxima. | Minima. | | Maxima. | Minima. | | Maxima. | | | | | | |
| | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | Degrés centigrades. | | Degrés centigrades. | | | | | | |
| | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | Jour. | | | | | | |
| Janvier. | 13 | 16.5 | 1 | 21.6 | 17 | 15.4 | 7 | 20.4 | 31 | 16.8 | 7 | 20.6 | 13 | 15.0 | 9 | 19.9 | 2 | 16.2 | 13 | 20.0 | 8 | 14.5 | 22 | 19.0 |
| Février. | 11 | 17.0 | 19 | 21.1 | 23 | 16.0 | 7 | 20.6 | 16 | 15.0 | 10 | 19.7 | 10 | 17.5 | 14 | 20.9 | 23 | 17.0 | 17 | 19.5 | 10 | 14.9 | 23 | 20.5 |
| Mars. | 2 | 16.4 | 21 | 20.5 | 1 | 18.6 | 21 | 21.2 | 26 | 16.2 | 18 | 20.3 | 25 | 17.0 | 19 | 20.0 | 19 | 16.0 | 11 | 20.4 | 6 | 15.6 | 16 | 20.5 |
| Avril. | 12 | 18.5 | 26 | 21.0 | 7 | 18.0 | 18 | 21.0 | 12 | 18.0 | 23 | 21.6 | 16 | 17.5 | 5 | 20.0 | 2 | 17.8 | 10 | 20.7 | 21 | 17.5 | 5 | 20.0 |
| Mai. | 20 | 19.8 | 17 | 22.3 | 8 | 19.4 | 12 | 21.6 | 16 | 19.2 | 30 | 22.2 | 7 | 18.0 | 15 | 20.5 | 4 | 17.5 | 22 | 21.0 | 16 | 17.0 | 25 | 21.0 |
| Juin. | 23 | 20.0 | 29 | 22.7 | 23 | 18.0 | 7 | 21.6 | 22 | 19.3 | 15 | 22.0 | 24 | 17.9 | 8 | 21.6 | 13 | 18.3 | 9 | 21.0 | 2 | 19.3 | 6 | 21.8 |
| Juillet. | 28 | 20.0 | 12 | 23.4 | 1 | 18.7 | 19 | 21.8 | 29 | 19.4 | 14 | 22.4 | 1 | 18.5 | 10 | 21.6 | 2 | 19.5 | 30 | 22.6 | 13 | 19.5 | 28 | 22.5 |
| Août. | 4 | 19.7 | 31 | 23.2 | 1 | 19.7 | 11 | 22.8 | 20 | 19.0 | 6 | 22.0 | 7 | 19.5 | 30 | 22.4 | 22 | 19.8 | 1 | 22.8 | 8 | 19.0 | 12 | 22.5 |
| Septembre | 9 | 20.4 | 26 | 23.0 | 14 | 19.5 | 30 | 23.0 | 29 | 18.5 | 24 | 22.2 | 21 | 20.7 | 4 | 23.0 | 25 | 18.5 | 19 | 22.5 | 3 | 19.0 | 14 | 23.0 |
| Octobre. | 25 | 19.7 | 14 | 22.8 | 18 | 17.4 | 1 | 22.4 | 24 | 19.0 | 10 | 21.6 | 28 | 17.8 | 11 | 22.2 | 21 | 16.8 | 12 | 21.0 | 22 | 17.0 | 3 | 21.9 |
| Novembre. | 26 | 18.6 | 20 | 21.6 | 28 | 17.0 | 13 | 22.5 | 21 | 16.3 | 9 | 20.8 | 6 | 16.4 | 19 | 20.1 | 25 | 16.0 | 10 | 21.1 | 14 | 16.0 | 8 | 20.5 |
| Décembre. | 19 | 17.0 | 1 | 21.2 | 12 | 17.5 | 7 | 20.6 | 18 | 15.6 | 1 | 20.0 | 20 | 15.8 | 8 | 19.4 | 31 | 14.8 | 21 | 22.0 | 30 | 15.1 | 9 | 20.2 |
| Pour toute l'année. | 16.4 | | 23.4 | 16.0 | | 23.0 | 15.0 | | 22.4 | 15.0 | | 23.0 | 14.8 | | 22.8 | 14.5 | | 23.0 | | | | | | |

DISCUSSION EN SECTIONS



(1^{re} et 2^e SECTIONS REUNIES)



Séance du 20 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN, PRÉSIDENT DE LA 1^{re} SECTION

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK, SECRÉTAIRE PRINCIPAL DE LA 1^{re} SECTION

RAPPORTEUR : M. CANDELLERO

M. Frescot, président de la 2^e section, et **M. Clerault**, secrétaire principal de la 2^e section, prennent place au bureau.

M. le Président. La 1^{re} section est appelée à discuter en commun avec la 2^e section la question relative à la ventilation des grands tunnels.

La parole est à M. Candellero, ingénieur, chef de section au service de l'entretien, de la surveillance et des travaux de la voie des chemins de fer italiens de la Méditerranée, rapporteur.

M. Candellero présente une analyse de l'exposé qu'il a fait de la question (1).

M. le Président. Je crois qu'il est assez difficile de discuter cette question technique. Elle dépend de la longueur des tunnels, du trafic, etc. Ce qu'on pourrait faire, c'est demander quelques renseignements sur les services qui sont faits, dès à présent, dans les tunnels. Je crois qu'en Angleterre et en France, il y a de très longs tunnels où l'on a éprouvé des difficultés pour le trafic.

En Angleterre, où il y a également un grand nombre de tunnels, on a cherché

(1) Voir le *Bulletin*, vol. III, numéro de juillet 1889, 2^e fascicule.

de même à appliquer quelques moyens particuliers pour en améliorer la ventilation.

En Italie aussi, il y a des tunnels qui présentent des difficultés pour l'exploitation.

Je crois que M. le Rapporteur sera assez bon pour nous donner des renseignements à ce sujet.

M. Candellero. Je crois que le tunnel du Fréjus est le seul en Europe où l'on ait appliqué quelques dispositions pour engendrer une ventilation, soit partielle, soit complète. Je vais dire ce que l'on a fait au Fréjus. On s'y est aperçu, dès le commencement, que l'aération n'était pas bonne du tout. Ce fait était dû à la grande quantité de fumée que les machines produisaient dans le tunnel à cause des fortes rampes. Ces rampes sont de 23 et même de 27 par mille sur une longueur totale de 8 kilomètres sur le versant français. On a pensé mettre en fonction les appareils dont on s'était servi pour la perforation, c'est-à-dire les compresseurs installés à Bardonnèche qui avaient été utilisés pour commander les perforatrices et les aspirateurs qui étaient à Modane et qui pendant la perforation avaient aéré le tunnel lorsqu'il n'était pas encore ouvert. Les proportions de ces installations, celles des compresseurs comme celles des aspirateurs, ne sont pas en relation avec la besogne qu'elles ont à remplir. Cependant, elles apportent quelques avantages. Mais lorsque les conditions barométriques sont troublées sur les deux versants de la montagne, il n'y a pas de mécanisme capable de donner une ventilation quelconque. Les dérangements barométriques s'imposent d'une manière absolue. Il n'est pas possible d'engendrer un courant avec les moyens dont dispose la Compagnie. Ces conditions pourraient être changées si on avait installé, dès le commencement, de grands ventilateurs avec de vastes galeries latérales doubles, comme en Angleterre, dans les tunnels de la Mersey et de la Severn.

Au Fréjus, on n'a pas songé à ce besoin dès le commencement, parce que l'on ne s'était pas attendu à avoir, avant un temps bien long, un trafic aussi important que celui des tunnels d'Angleterre. Nous avons, au Fréjus, 35 trains au maximum dont une moitié de France et l'autre moitié d'Italie. Jusqu'à présent, on a pu marcher tant bien que mal. Mais si le trafic augmente, si on arrive à 50 ou à 60 trains par jour, certainement il faudra aviser. Malheureusement, on n'y a pas songé dès le commencement. Ce sera une forte dépense. Les aspirateurs n'arrivent à extraire que le quatorzième de ce qu'il faudrait changer d'air pour avoir une atmosphère toujours respirable. Nous ne parlons pas des compresseurs. La quantité d'air refoulée et, par suite, renouvelée par les compresseurs est extrêmement

petite. Pourtant, ils procurent des avantages au personnel. Les robinets jettent de l'air pur et frais dans le tunnel aux agents de la voie lorsqu'ils sont en détresse. Une chose singulière est à remarquer : lorsqu'un agent de la voie commence à se sentir indisposé, lorsque l'air est imprégné d'acide carbonique, d'oxyde de carbone, lorsque les prodromes de l'asphyxie se déclarent, il est dangereux de mettre le patient en relation directe avec le robinet d'air. Il tombe évanoui; il faut lui administrer l'air peu à peu. C'est même pour cette raison qu'en 1881, on avait proposé de faire venir les robinets qui apportent de l'air dans des baquets pleins d'eau pour que l'air en s'engouffrant à l'intérieur ne sortît plus en un jet unique. On a fait quelques essais, mais on n'y a pas trouvé grand avantage, de manière qu'on les a abandonnés.

Au Gothard, on ne fait rien. On n'a besoin de rien pour le moment. La différence de niveau entre les extrémités est très petite. Les rampes sont très faibles. La quantité de fumée est beaucoup moindre qu'au Fréjus.

A l'Arlberg, qui est le troisième tunnel dans l'ordre de la longueur, on ne fait rien non plus. La Compagnie, qui nous a donné des renseignements déclare que, pour le moment, elle ne se préoccupe pas de cette question.

Le problème de la ventilation artificielle n'a été traité sérieusement qu'en Angleterre. On y a installé deux ventilations très bien faites. Il s'agit de tunnels où existe un mouvement de trains toutes les cinq minutes, peut-être davantage; ces tunnels passent sous des fleuves, c'est-à-dire qu'ils ont les extrémités au même niveau, que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur y est très petite, et que la force motrice engendrant un mouvement d'air n'y existe pas du tout. Comme il y avait un grand mouvement de trains et qu'il n'était pas possible de créer des déplacements d'air par les changements barométriques, on a dû penser à faire une ventilation artificielle sans laquelle ces tunnels n'eussent pas été praticables. On a réussi. On a même songé à résoudre le problème pendant la construction. On a aménagé du côté des tunnels de longues galeries subsidiaires qui ont 2^m20, 2^m30 de diamètre; ce sont de véritables tuyaux qui s'ouvrent de temps en temps avec des bouches de prise dans les tunnels. Ces tuyaux, parallèles aux tunnels, sont parcourus par un fort courant qui est engendré au moyen d'énormes ventilateurs du système Guibal. Ces ventilateurs ont de 13 à 14 mètres de diamètre et 3 mètres de largeur. Ils marchent à une vitesse relativement grande sans dépenser beaucoup de force motrice.

Dans ces conditions, on arrive à maintenir l'air à peu près dans des proportions telles que les produits irrespirables ne montent pas au delà de 2 litres pour

chaque mètre cube d'air. L'air contient presque toujours 5/10,000 d'acide carbonique. Il cesse d'être respirable lorsqu'on arrive à 20/10,000. Dépasser cette proportion serait mettre la respiration en danger. Avec les dimensions des mécanismes qu'on tient en fonction, on arrive à conserver ces deux tunnels dans de bonnes conditions. Il faut ajouter que la Compagnie qui exploite le tunnel de la Mersey avait à lutter contre les conditions excellentes offertes par les bacs qui font la traversée du fleuve. Naturellement, il fallait autant que possible persuader tout le monde de passer dans ce souterrain, et, pour empêcher toute comparaison fâcheuse, il a fallu prendre des précautions qui ont dû coûter beaucoup d'argent. Les frais d'exploitation ne paraissent pourtant pas considérables.

J'ai encore quelque chose à dire sur les appareils portatifs pour la ventilation partielle. A ce sujet, j'ai fait des recherches un peu partout. Il y a l'appareil Galibert, qu'on a essayé de toutes manières en France et en Italie, et que l'on a mis ensuite de côté. Il consistait en une caisse où l'on refoulait de l'air comprimé à un certain nombre d'atmosphères. Cet appareil était porté sur le dos par les cantonniers qui, à l'aide de robinets, pouvaient aspirer de l'air pur. Mais tout cela embarrassait ces gens. On a fini par reconnaître que les avantages de cet appareil étaient si minces à côté de ses inconvénients, qu'on l'a abandonné. Un ingénieur de notre Compagnie, M. Charles Valle, a proposé un appareil de son invention. Placé sur la machine, cet appareil a pour but de changer l'atmosphère qui entoure le mécanicien. Dans certains tunnels où l'on a la double et la triple traction, il arrive que les mécaniciens et les chauffeurs se trouvent dans des conditions difficiles, surtout avec une seule voie. Nous avons attaché beaucoup d'importance à cette question parce que nous avons beaucoup de tunnels à une voie. L'appareil de M. Charles Valle paraît résoudre le problème, sinon complètement, au moins d'une façon satisfaisante. Cet appareil prend l'air au bas du tunnel sous la plate-forme de la locomotive et le lance dans l'espace où se trouve le mécanicien. On a fait beaucoup d'expériences et l'on a reconnu que ce mécanisme, lorsqu'il fonctionne, sert à abaisser notablement la température autour du mécanicien. Elle descend de 54 à 30, à 28, à 27°, ce qui est déjà beaucoup. L'appareil produit un mélange de l'air respirable, qui existe presque toujours en bas, avec l'air qui est sur la plate-forme. De cette manière, le mécanicien se trouve très bien.

La Compagnie de la Méditerranée a proposé à l'État de faire l'application de cet appareil sur une grande quantité de locomotives. On verra plus tard les résultats. Ceux qu'on a obtenus sont satisfaisants.

M. le Président de la Commission internationale m'a transmis un projet de

ventilation artificielle imaginé par un ingénieur italien, M. Ottavi : M. Ottavi a fait imprimer son projet et j'en dépose un exemplaire sur le bureau à la disposition des membres du Congrès. L'idée du projet de M. Ottavi est celle-ci : pour ventiler le tunnel, il faut avoir une cheminée. Seulement, pour activer le tirage de la cheminée, on s'est borné jusqu'à présent à mettre le foyer au bas de la cheminée.

J'ai une idée, dit M. Ottavi, et c'est tout son projet : au lieu de faire un seul foyer, établissons-en trois ou quatre et disposons-les sur la hauteur de la cheminée. Vous arriverez ainsi à avoir une ventilation plus active et qui vous coûtera beaucoup moins. Je ne le crois pas.

Un membre. Ni moi non plus.

M. Candellero. Je suis même d'avis que les foyers de M. Ottavi donneraient lieu à une consommation de combustible bien supérieure à celle qu'on aurait, à parité d'effet utile, avec un foyer unique installé à la base de la cheminée.

M. Banderali (*France*). Je désire poser une question à M. le Rapporteur plutôt que donner une information personnelle. La question de la ventilation des tunnels devient très importante, au point de vue non seulement de la circulation dans les longs tunnels, mais aussi de la circulation sur les réseaux métropolitains en construction ou construits ; un grand nombre de tunnels de longueur modérée s'y rencontrent. Nous savons tous la difficulté extrême que l'on a rencontrée au « Metropolitan Railway » de Londres, entre « King's Cross » et « Edgware Road », pour établir une ventilation suffisante. On a essayé plusieurs moyens. Comme le dit M. le Rapporteur, lorsqu'il y a des perturbations atmosphériques et des différences de pression, il est difficile de passer dans ces tunnels de longueur modérée sans être incommodé, même aujourd'hui.

Je crois donc que la question doit être étudiée aussi au point de vue des tunnels qu'on peut construire sur les lignes métropolitaines. L'établissement du tunnel sous la Mersey a fait faire un grand pas au problème. On a eu là recours à tous les moyens possibles, comme le dit le rapport de M. Candellero, parce qu'on avait à lutter contre la concurrence des grands bateaux qui font les traversées entre Liverpool et Birkenhead. On y a organisé une ventilation qui est même trop forte. Tous ceux qui ont passé là à certains moments de l'année ont éprouvé, dans la traversée du tunnel, des courants d'air très vifs.

A-t-on pris des mesures pour remédier à l'inconvénient de l'excès de ventilation ?

M. Candellero. Je crois que le jour où l'on voudra éviter tous ces courants d'air, c'est-à-dire empêcher l'air d'entrer avec trop de vitesse dans les tunnels, on ne pourra plus les ventiler dans les conditions nécessaires. Une certaine quantité d'air doit être introduite dans un tunnel. Il faut que cet air passe quelque part. Je ne connais rien à ce propos. Les détails qu'on m'a fournis sont très restreints. On ne dit rien sur cette question. Ou il faut réduire la quantité d'air, ou il faut admettre le courant. L'air extérieur doit entrer par le faite, puisqu'on le pousse à l'intérieur.

M. Banderali. Aux bouches du tunnel, lorsqu'on descend ou qu'on sort par les escaliers, on est trop ventilé. Tout au moins, les voyageurs devraient être abrités contre les atteintes du vent. Une fois qu'on est, soit dans l'ascenseur, soit dans la voiture, on peut se garantir, mais au dehors sur les quais, on reste exposé à ces courants d'air qui sont fort désagréables.

M. Candellero. On pourrait diminuer ces mauvaises conditions en ouvrant d'autres bouches que celles de descente.

M. le Président. On descend par des ascenseurs.

M. Banderali. Oui. Il y a des ascenseurs fermés et des escaliers. L'ascenseur est une bonne solution s'il peut soustraire le voyageur à l'action des courants d'air; mais sur les plates-formes, l'air est très vif.

M. le Président. Il y a des ascenseurs qui contiennent quarante personnes. Il y en a trois : un de première classe, un de deuxième classe et un de troisième classe.

M. Banderali. Ce sont des salles d'attente mobiles.

M. le Président. Je suis d'accord avec M. Banderali au sujet du « Metropolitan Railway ». J'ai eu souvent à prendre cette voie entre « King's Cross » et « Edgware Road », et le manque d'air m'y causait des impressions très pénibles. Je souffrais une demi-heure après. J'avais la gorge prise. A présent, les journaux s'occupent de cette question. Ils disent que ce tunnel est déplorable et qu'on devrait le fermer.

M. Banderali. Ils disent que c'est déplorable, oui; mais le tunnel existe toujours.

M. M. von Leber (*Autriche*). Je trouve que le rapport de M. Candellero est

de nature à nous inquiéter quelque peu. M. le Rapporteur dit que les tunnels doivent être construits de telle manière que la ventilation puisse se faire, mais il ajoute que dès que des dérangements barométriques se produisent, elle devient impossible. Aucun système ne suffit plus pour l'établir. Je demande, en ce cas, ce que nous ferons. Je désire profiter de la présence de nos collègues de la traction pour demander leur avis sur la question en ce qui concerne le personnel en service sur le train. Le problème de la ventilation a deux faces : l'une concerne les voyageurs et l'autre le personnel. Le danger est bien moins grand pour les voyageurs que pour les mécaniciens. Si le voyageur se trouve mal un certain instant, il revient à lui au sortir du tunnel, et cet accident a peu d'importance. Mais si le mécanicien se trouve mal un seul instant, les conséquences de son indisposition peuvent devenir incalculables. Il me semble que des appareils tels que ceux de Valle et Galibert, dont on a parlé, rendraient de grands services si on pouvait en tirer parti. Je me rappelle que, lors de la dernière exposition, en 1878, la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée avait installé cet appareil Galibert au sommet des locomotives à quatre essieux couplés. Il a été dit à cette époque que l'appareil marchait très bien dans un tunnel dont je ne me rappelle pas le nom. MM. les ingénieurs de la traction ont-ils trouvé depuis un moyen sûr de préserver les mécaniciens contre l'asphyxie ?

M. Candellero. Je me suis mal exprimé en disant qu'il n'y avait rien à faire lorsque les changements barométriques avaient une certaine importance. J'ai voulu dire qu'il n'y avait rien à faire avec des moyens naturels. De mon rapport, il résulte qu'avec des cheminées actionnées par des foyers très puissants ou avec des ventilateurs, il est toujours possible de maîtriser la ventilation de manière à obtenir ce que l'on veut. C'est une question de dépense plus ou moins forte.

M. Baudry (France). J'ai demandé la parole pour fournir les renseignements demandés par M. von Leber au sujet de l'emploi de l'appareil Galibert sur le chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

Cet appareil a été placé il y a quinze ou vingt ans sur les locomotives faisant le service des marchandises de la ligne d'Alais à Langogne. Il n'y a pas de longs tunnels sur cette ligne; mais il y en a un grand nombre, dont quelques-uns atteignent 1 kilomètre à 1 1/2 kilomètre; tous ces tunnels sont à une seule voie et de faible section, et quelques-uns d'entre eux, celui de l'Albespeyre en particulier (1,508 mètres), sont mal ventilés à cause de leur orientation. D'autre part, la ligne étant presque tout entière en rampe de 25 millimètres, les trains de mar-

chandises y sont faits par deux machines puissantes, l'une en tête et l'autre en queue. Il en résulte une production de gaz délétères très grande par rapport à la section des tunnels, et par conséquent une altération très marquée de l'atmosphère, surtout à l'arrière du train, où le mécanicien de renfort, quand sa machine marchait cheminée en avant, recevait la fumée des deux machines.

C'est pour éviter les malaises éprouvés dans ces circonstances, que l'appareil Galibert a été appliqué par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Il a bien fonctionné; mais son emploi causait aux mécaniciens et aux chauffeurs une gêne assez grande, et comme les malaises qu'il avait pour but d'éviter n'étaient pas assez fréquents pour inquiéter, les agents s'en servaient peu.

Ils ont complètement cessé de s'en servir depuis qu'on a eu l'idée de faire marcher tender en avant la machine de queue, dont le mécanicien et le chauffeur se sont ainsi trouvés à l'abri de l'action délétère des gaz de leur propre cheminée. Depuis lors, nous démontons les appareils Galibert devenus inutiles.

M. Kossuth (*Italie*). Un mot seulement au sujet de cette opinion de M. le Rapporteur que les appareils placés au grand tunnel du Fréjus ne donnent pas de bons résultats.

Il faut s'entendre : au Fréjus, nous avons délaissé, pour des motifs spéciaux, l'aspirateur qui avait servi lors de la construction du tunnel. Jusqu'ici, nous n'avons pas étudié la question de la ventilation par la raison que, bien que nous ayons eu quelques petits accidents sans gravité, le besoin de faire une dépense considérable ne s'est pas encore manifesté.

Jusqu'à présent, on s'est borné pour le passage du Fréjus à envoyer de l'une des extrémités du tunnel de l'air comprimé par les moyens connus de tous. D'autre part, nous avons établi, surtout dans l'intérêt du personnel de la voie obligé de rester parfois longtemps en service et qui a besoin de se réconforter, des salles de refuge; à l'autre extrémité du tunnel, on avait, lors de la construction, établi un aspirateur à cloche; mais cet appareil, comme je l'ai dit, ne fonctionne plus, le courant d'air naturel ayant paru suffisant.

Done, si nous n'avons pas obtenu de résultats tout à fait favorables par les moyens que nous avons employés, il serait cependant difficile de dire que l'aération d'un tunnel de chemin de fer est un problème insoluble. Nous connaissons bien des mines où la quantité de mètres cubes d'air à déplacer est autrement considérable qu'au Fréjus, et où cependant on travaille parfaitement.

Le problème n'est donc pas insoluble, mais il est possible qu'il s'y attache des

considérations économiques d'une telle importance qu'on soit obligé d'ajourner les dépenses considérables que la solution imposerait.

M. Candellero. Au Fréjus, on fait ce qu'on peut. Quand le besoin d'une ventilation a été constaté, nous nous sommes dit : Contentons-nous de quelque chose, puisque nous ne pouvons pas avoir la perfection.

Il serait utile, je pense, de nous mettre d'accord sur quelques points ; de dire, par exemple, que quand on étudie un projet de grand tunnel (ce sont les seuls dont il y ait lieu de se préoccuper), il est utile de réserver les moyens d'obtenir une ventilation convenable, si le besoin s'en faisait sentir un jour, de manière à n'avoir pas à faire alors une dépense dix fois supérieure à celle qui serait suffisante au début.

Si au Fréjus, par exemple, on devait faire les travaux nécessaires pour installer une ventilation complète, on devrait y dépenser une somme considérable, parce qu'il faudrait creuser des canaux parallèles au grand tunnel, tandis que la dépense eût été insignifiante si les travaux nécessaires avaient été faits pendant la construction du tunnel.

C'est donc là un point extrêmement important, et je crois qu'il serait utile que la section exprimât l'opinion qu'il y a lieu de procéder comme je viens de le dire, et qu'elle invitât les Compagnies et les gouvernements à ne pas approuver les projets de grands tunnels qui ne présenteraient pas les dispositions nécessaires pour y établir un système de ventilation convenable.

M. Banderali. La forme que M. le Rapporteur voudrait donner à ce vœu est un peu énergique. Il me paraît impossible de dire que les gouvernements ne devraient pas approuver les projets de grands tunnels qui ne prévoiraient pas un système de ventilation. Un tel vœu excéderait le but de nos délibérations.

Ce qui est admissible, c'est que l'on exprime le vœu que, dans l'étude des projets de tunnels, on se préoccupe de la question de la ventilation, non seulement dans les grands tunnels, mais même dans les petits, comme, du reste, dans les métropolitains.

C'est une question à étudier par les ingénieurs, mais en dehors de l'action des autorités gouvernementales.

Ensuite, il y a lieu, pour donner satisfaction à M. von Leber, quant à l'intérêt qu'il y a de procurer aux mécaniciens et chauffeurs une ventilation suffisante, de recommander l'étude des moyens de leur procurer de l'air respirable dans les tunnels.

Ces deux conclusions me semblent résumer notre discussion.

M. le Président. M. Banderali voudrait-il rédiger sa proposition ?

M. Banderali. M. le Secrétaire le fera certainement aussi bien que moi, mais je suis aux ordres de M. le Président.

M. Candellero. Je propose, au n° 3 de mes conclusions, de dire :

« Il est de la plus haute importance que la question de la ventilation complète et régulière dans les grands tunnels soit étudiée en même temps que l'on fait le projet du souterrain. »

A part le mot *grands* qui pourrait être supprimé, cette rédaction me semble exprimer la pensée de M. Banderali. Quant à la seconde partie de ma conclusion relative à l'intervention des gouvernements, elle devrait disparaître si la section partageait son opinion.

M. Frescot. Il est évident qu'il faut une ventilation suffisante pour que le service de la voie puisse se faire convenablement. Tout ce que peut faire le Congrès, c'est, comme le disait M. Banderali, d'exprimer le vœu qu'on recherche les moyens d'obtenir, pour les mécaniciens comme pour les voyageurs, une ventilation convenable.

La question étant posée, on peut espérer que pour le prochain Congrès on pourra apporter des solutions pratiques.

Il y a des tunnels qui, à priori, semblaient ne pas offrir de difficulté pour la ventilation et où se sont révélés plus tard de sérieux inconvénients; et cependant les projets avaient été approuvés par le gouvernement. Par contre, il en est d'autres où l'on pouvait craindre de sérieuses difficultés pour en assurer la ventilation et où ces difficultés ne se sont cependant pas révélées. C'est pour cela que nous ne pourrions pas voter la partie des conclusions sollicitant des gouvernements le refus d'approbation des projets qui ne prévoiraient pas des mesures pour assurer éventuellement une ventilation artificielle.

M. Candellero. Je dois insister pour que les projets — tout au moins en ce qui concerne les grands tunnels — prévoient les moyens de les ventiler, parce que si l'on n'oblige pas les constructeurs à faire les travaux nécessaires, il faudra plus tard y consacrer des sommes considérables si le besoin en est reconnu. C'est pour cela que je proposais de solliciter le refus d'approbation, par les gouvernements, des plans de tunnels qui ne prévoiraient pas les dispositifs nécessaires pour assurer la ventilation.

M. Banderali. Voici la rédaction que j'ai l'honneur de proposer :

“ Les sections réunies pensent qu'en général il est utile de se préoccuper, dans
 “ les premières études de l'établissement des grands tunnels et même de certains
 “ tunnels placés sur des lignes très fréquentées, comme les lignes métropoli-
 “ taines, de la question très importante de la ventilation naturelle et artificielle;
 “ et cela en raison de la grande difficulté de faire, après coup, les installations
 “ nécessaires à cette ventilation.

“ En même temps, on ne peut qu'encourager la recherche et le perfectionnement
 “ d'appareils permettant efficacement au personnel des trains de franchir sans
 “ inconvénient ces tunnels et d'y séjourner pour le service. ”

M. Brière (*France*). Il faudrait dire “ personnel ” en général. Il est évident que le personnel de la voie est aussi et même plus intéressé que les mécaniciens — à raison de son séjour plus prolongé dans les tunnels — à ce que ceux-ci soient convenablement ventilés.

M. Banderali. Soit! nous dirons “ personnel ” en général.

— La proposition de M. Banderali ainsi amendée est adoptée.

— La séance est suspendue à 11 heures.

Séance du 21 septembre 1889 (matin)

PRÉSIDENCE DE SIR A. FAIRBAIRN, PRÉSIDENT DE LA 1^{re} SECTION

SECRÉTAIRE PRINCIPAL : M. PERK, SECRÉTAIRE PRINCIPAL DE LA 1^{re} SECTION

RAPPORTEUR : M. CANDELLERO

M. Frescot, président de la 2^e section, et **M. Clerault**, secrétaire principal de la 2^e section, prennent place au bureau.

M. Perk donne lecture du rapport suivant, résumant la discussion de la question VI :

“ Les sections avaient à leur disposition pour l'examen de la question VI deux documents :

“ 1^o Un exposé très complet de la question par M. Candellero, ingénieur, chef

de section au service de l'entretien de la Société italienne des chemins de fer de la Méditerranée;

“ 2° Une note par l'Administration du chemin de fer du Gothard.

“ Le rapporteur a établi mathématiquement les conditions de ventilation naturelle des tunnels, l'influence des cheminées d'aération et a examiné en détail les nombreux facteurs naturels qui viennent troubler ce régime théorique.

“ Le reste du mémoire est consacré à la ventilation artificielle.

“ Après une intéressante discussion, relative non seulement aux grands tunnels en montagnes, mais aussi aux tunnels des lignes métropolitaines, la résolution suivante a été adoptée :

“ Les 1^{re} et 2^e sections réunies pensent qu'il est très utile de se préoccuper, dans l'étude de l'établissement des grands tunnels et même de certains tunnels placés sur des lignes très fréquentées, comme les lignes métropolitaines, de la question très importante de la ventilation naturelle et artificielle; et cela en raison de la grande difficulté de faire, après coup, les installations nécessaires à cette ventilation.

“ En même temps, on ne peut qu'encourager la recherche et le perfectionnement d'appareils permettant efficacement au personnel de franchir sans inconvénient le tunnel et d'y séjourner pour le service. »

M. Clerault. Le rapport qui nous a été présenté est très complet et plein d'intérêt; mais il me semble que, dans la discussion, nous avons omis un point qui est peut-être encore accessoire aujourd'hui, mais qui peut devenir plus tard très intéressant, surtout si la longueur des tunnels augmente encore. Il est possible, en effet, qu'on soit conduit, dans certains cas exceptionnels, comme la traversée de la Manche, par exemple, ou un métropolitain, etc..., à exécuter des tunnels très longs ou très fréquentés et dont la ventilation pourrait être très difficile. Et il se peut alors qu'à bout de moyens, les ingénieurs de la voie se retournent vers nous, ingénieurs de traction, et nous disent : Employez les procédés que vous voudrez, mais ne faites pas de fumée. Je crois donc qu'il est désirable que l'on étudie les solutions qui pourraient permettre la circulation dans des tunnels placés dans les conditions exceptionnelles ci-dessus; et il me semblerait désirable que la section exprimât cette pensée qu'il y a lieu d'étudier les procédés à employer pour franchir les tunnels de longueur ou de fréquentation exceptionnelles lorsque, par l'emploi des moyens ordinaires, les gaz, la chaleur et la fumée y seraient intolérables.

M. Brière. J'ai demandé la parole avant que M. Clérault eût achevé. Il a terminé par un mot sur lequel je dois appeler votre attention. Ce n'est pas seulement la fumée qui nous intéresse; c'est surtout la vapeur d'eau, dans certaines circonstances du moins.

Au Métropolitain, dont a parlé M. Banderali, il y a des parties souterraines et des sections à ciel ouvert. Il est évident qu'on ne peut pas songer, dans de telles conditions, à employer la traction électrique ou quelque autre mode analogue pour une partie seulement du parcours et un mode différent pour l'autre partie. Il faut conserver la vieille locomotive avec tous ses bienfaits; mais ne pourrait-on pas demander aux ingénieurs de la traction d'étudier une solution qui permettrait d'opérer la condensation de la vapeur pendant un temps restreint du parcours? La question présente pour nous un intérêt particulier. Tout le monde reconnaît que pour les tunnels courts, mais très fréquentés, la condensation est plus gênante encore que la fumée.

M. Clérault. C'est ce qui se fait à Londres.

Un membre. La question n'intéresse pas seulement les ingénieurs de la traction, mais aussi les ingénieurs chargés de faire le tracé. Si l'on veut que, dans les grands tunnels, on produise à la fois peu de fumée et peu de vapeur, il faut éviter d'y avoir de fortes rampes qui imposent à la locomotive un grand effort de traction et, par conséquent, une grande dépense de vapeur.

Je puis citer à l'appui de mon opinion un fait intéressant : Au moment où l'on a arrêté le tracé du grand tunnel du Gothard, des ingénieurs ont dit que ce tunnel serait inventilable; que, pour qu'un tunnel puisse être naturellement ventilé, il fallait une grande différence de niveau entre les deux extrémités. Or, vous savez, messieurs, que le tunnel du Saint-Gothard, qui a une grande longueur, est à peu près de niveau et cependant la ventilation s'y fait tout naturellement.

M. Polonceau (France). J'ai eu à étudier cette question en 1885-1886, lors de l'expertise du percement du Simplon : le tunnel projeté devant avoir 16 kilomètres, il était naturel qu'elle préoccupât les ingénieurs.

Nous étions, mes collègues et moi, d'avis que la ventilation se ferait naturellement et que par suite des très faibles rampes que nous avions recommandées, l'air s'y trouverait très peu vicié; néanmoins, pour rassurer le public, nous pensions nécessaire de maintenir à tous les kilomètres des chambres de refuge dans lesquelles on enverrait de l'air au moyen de compresseurs.

Si la ventilation naturelle, par suite de la grande longueur du tunnel, présentait des difficultés, il serait facile d'y remédier.

Ce qui rend surtout la ventilation nécessaire dans l'intérieur d'un tunnel, c'est le dégagement de fumée et de gaz, spécialement d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, plus ou moins asphyxiants et même délétères, par suite de la combustion du charbon nécessaire à la production de vapeur des locomotives.

Une locomotive à huit roues accouplées de 1^m26 de diamètre, remorquant 245 tonnes à une vitesse de 15 kilomètres à l'heure, sur rampe de 20 millimètres de courbe de 300 mètres, dépensera 63 kilogrammes de combustible et 500 litres d'eau par kilomètre.

Le volume d'air nécessaire à la combustion totale sera de 1,140 mètres cubes par heure.

Le volume de gaz s'échappant par la cheminée à 300° sera de 2,439 mètres cubes par heure.

Le volume de l'acide carbonique sera de 217 mètres cubes par heure.

Si l'on parvenait à isoler les gaz irrespirables, la question d'aération d'un tunnel au point de vue des voyageurs serait singulièrement simplifiée.

J'ai indiqué à la commission d'expertise du Simplon une disposition spéciale qui pouvait résoudre le problème; elle consistait à disposer soit à la partie supérieure du tunnel, soit sur le côté (en adoptant une cheminée de locomotive d'une forme spéciale), un tube, une cloison ou un canal fermé par des clapets, laissant seulement passer la cheminée de la locomotive ou s'ouvrant par le passage de la fumée et de la vapeur qui seraient aspirées par un ventilateur placé aux entrées du tunnel.

M. Lommel (*Suisse*). Je puis me rallier à l'opinion que vient d'exprimer l'honorable membre qui a pris la parole avant M. Polonceau, et j'ajoute qu'il est presque toujours possible aux ingénieurs de la construction d'éviter les inconvénients qui sont signalés, en appropriant les profils aux exigences de la traction. C'est peut-être un malheur que beaucoup d'ingénieurs de la construction ne connaissent pas assez les conditions de traction et que les tracés soient fixés parfois sans en tenir suffisamment compte. En ce qui concerne le Simplon, j'ai l'honneur de faire savoir à M. Polonceau que le tracé aujourd'hui adopté et admis par la délégation italienne à la conférence de Berne, comme le *seul* qui puisse espérer une participation financière de l'Italie, n'est pas celui de l'expertise de 1885-1886, mais celui que j'ai eu l'honneur de proposer six ans auparavant, en 1880, en ma qualité de directeur de la Compagnie du Simplon. Ce tracé comporte un tunnel rectiligne de

19,600 mètres de longueur et une rampe d'accès de 22 p. m. sur 16 1/2 kilomètres du côté méridional. Au nord, les déclivités de la ligne d'accès ne dépassent pas 11 p. m. Dans le grand tunnel même projeté à dos d'âne, la déclivité est de 2 p. m. du côté nord et de 6 p. m. du côté sud. Ce dernier coefficient, que je considère comme un maximum, est celui qui existe, à peu de chose près, dans le tunnel du Gothard, qui comporte, en effet, une rampe de 5.82 p. m. à partir de la tête nord sur moitié environ de la longueur du tunnel. J'ajoute qu'au Gothard, les difficultés de ventilation sont à peu près inconnues. J'ai traversé le grand tunnel plusieurs fois sur la locomotive du train et bien plus souvent en voiture, et je n'ai jamais senti une gêne quelconque ni observé une telle gêne chez d'autres voyageurs. Sur la locomotive, j'ai bien pu constater certains parcours où la fumée d'un train précédent, non encore évacuée, rend l'air un peu plus mauvais, mais ces sections n'ont que quelques centaines de mètres de longueur et sont traversées en 30 ou 40 secondes; on en juge bien moins par une difficulté de respiration que par le caractère plus terne des lumières. Dans les voitures, dont les fenêtres et portières doivent être tenues fermées, on n'éprouve aucune sensation particulière. Le Gothard comporte donc une solution en générale satisfaisante, et l'application des mêmes coefficients de déclivité au Simplon semble devoir garantir contre toute surprise désagréable. Néanmoins, je suis à me demander s'il ne vaudrait pas mieux encore, au Simplon, forcer de 1 à 2 millièmes la rampe d'accès méridionale pour réduire la déclivité à l'intérieur du tunnel à 3 p. m. Peut-être cette solution sera-t-elle définitivement adoptée, car il est infiniment plus important d'avoir un tunnel d'une exploitation entièrement sûre et régulière, que de dépenser quelques milliers de francs de plus par an en frais de traction de la ligne d'accès. Au Mont-Cenis, on aurait peut-être mieux fait de forcer la rampe d'accès pour améliorer le profil du tunnel.

Le tracé, aujourd'hui admis pour le Simplon, a donné lieu, dans le temps, à une très vive lutte. Je ne puis entrer dans les détails de celle-ci, mais je tiens à la disposition des membres de la section un certain nombre de brochures, que je dépose sur le bureau, et qui ont trait à la question ⁽¹⁾.

En somme, je crois que nous devons conclure à la nécessité qu'il y a de vouer toute notre attention aux conditions de traction dans la fixation d'un tracé, l'amélioration fût-elle même obtenue au prix d'une augmentation du coût d'établissement.

⁽¹⁾ *Quelques aperçus sur un programme pratique propre à assurer la plus prompte réalisation du percement du Simplon*, par T.-G. Lommel, ancien directeur de la Compagnie du chemin de fer du Simplon. In 4°, 29 pages, 1 planche. Lausanne, imprimerie Genton et Viret.

qu'employer le coke serait retourner à ce qui se faisait il y a quarante ans. Il est vrai que moyennant quelques systèmes que vous avez largement employés en France — vous avez des appareils fumivores — on peut réduire considérablement la production de la fumée.

Je crois que la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, moyennant les appareils Tenbrick qu'elle a employés généralement, réussit à brûler du combustible sans fumée.

Dans le cas des tunnels, — ce n'est pas le seul sujet qui doive nous occuper, — il me semble que diminuer la fumée, ce serait toutefois un bon résultat, quoique ce ne soit pas la fumée, mais l'acide carbonique qui produise des accidents. Diminuez la fumée, l'acide carbonique reste; or, c'est pour le personnel de la voie que l'acide carbonique est important, parce que celui-ci étant plus lourd que l'air, ce personnel est exposé à l'asphyxie bien plus que le personnel des trains.

M. Clerault. Je crois que tout le monde est d'accord; seulement, M. Clerc et M. Kossuth ont parlé de deux cas différents. M. Clerc a fait allusion à certaines lignes, telles que la ligne de Paris à Auteuil. Là, on n'a pas à combattre les inconvénients de la circulation dans les grands tunnels, car les tunnels de cette ligne sont relativement courts; mais on a à se préoccuper beaucoup des riverains qui se plaignent si les machines dégagent une fumée de nature à salir les mobiliers des habitations. Le remède employé consiste à brûler du coke; on évite ainsi la fumée noire et salissante; les riverains ont donc satisfaction.

Je pense avec M. Kossuth que ce moyen ne pourrait être efficacement employé dans le cas tout différent qu'il a considéré, c'est-à-dire dans le cas où l'on aurait à parcourir des tunnels exceptionnellement longs, si l'atmosphère dans ces tunnels devenait insupportable par l'emploi des procédés ordinaires de traction. Dans ce cas, il ne s'agit plus d'éviter la fumée noire et salissante, mais d'éviter une trop grande altération de la composition de l'atmosphère et une trop haute température pour les agents ou les voyageurs qui circulent dans le tunnel. Ce n'est pas le cas d'examiner ici les diverses solutions dont le problème serait susceptible; mais il semble qu'on pourrait mettre à l'ordre du jour les mesures à étudier pour les tunnels de longueur ou de circulation exceptionnelles, dans lesquels la traction par les moyens ordinaires ne pourrait se faire sans que l'altération de l'atmosphère ou l'élévation de la température devînt intolérable.

En ce qui concerne l'établissement de la voie, étudier les moyens de diminuer

le travail à produire dans les tunnels rentrant dans les conditions exceptionnelles ci-dessus, pour les franchir.

En ce qui concerne la traction, étudier les moyens de réduire ou de supprimer le déversement des gaz nuisibles, de la fumée et de la chaleur dans les tunnels rentrant dans les conditions exceptionnelles ci-dessus.

Un membre. J'ai entendu dire qu'il était difficile de mettre les grands tunnels de niveau. Cela est évident. Ce que j'ai voulu faire ressortir, c'est que, pendant les vingt dernières années, deux systèmes partageaient les ingénieurs qui traçaient les tunnels. Les uns disaient qu'il fallait s'appliquer à faire la plus grande différence possible de niveau entre les deux têtes, sauf à rester dans les limites exigées pour l'adhérence des machines. On considérait comme mauvais un tracé de tunnel qui n'élevait pas une tête plus que l'autre.

Les autres soutenaient la thèse opposée.

Tout en reconnaissant qu'il n'est pas toujours facile de mettre les tunnels de niveau, je suis d'avis que les ingénieurs doivent s'attacher le plus possible à le faire.

M. Banderali. J'ai rédigé très rapidement, l'autre jour, la conclusion des sections réunies. Évidemment, nous n'avions pas vu tous les points qui auraient dû être visés. Du reste, la discussion avait été très courte. Si vous le permettez, comme j'ai proposé la première rédaction, je vous sou mets une rédaction complète dans les termes suivants :

« La 1^{re} et la 2^e section réunies pensent qu'il est très utile de se préoccuper, « dans l'étude de l'établissement des grands tunnels, et même de certains tunnels « placés sur des lignes très fréquentées, comme les lignes métropolitaines, de la « question très importante de la ventilation naturelle et artificielle, et cela en « raison de la grande difficulté de faire, après coup, les installations nécessaires à « cette ventilation.

« Dans l'étude du tracé des lignes, il sera toujours très important de s'appliquer « à n'avoir pas de fortes rampes dans les tunnels. Il est nécessaire aussi de « prendre tous les moyens pour éviter ou réduire le plus possible le dégagement « nuisible de la fumée, des gaz de la combustion et de la vapeur dans les tun- « nels, même en ayant recours, dans certains cas spéciaux, à des procédés de trac- « tion autres que les locomotives ordinaires.

« En même temps, on ne peut qu'encourager la recherche et le perfectionnement

« des appareils permettant efficacement au personnel de franchir sans inconvénient ces tunnels et d'y séjourner pour le service. »

Un membre. M. Banderali parle de fortes rampes. On pourrait croire qu'il s'agit simplement d'une question de tolérance, comme le disait tout à l'heure M. Polonceau. Ne serait-il pas possible de dire : « ...de s'appliquer à n'avoir que de très faibles rampes dans les tunnels » ?

M. Banderali. C'est très facile. On peut dire :

« Il est très important de s'appliquer à n'avoir que de très faibles rampes dans les tunnels. »

— La rédaction, ainsi modifiée, est adoptée.

— La séance est levée.

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE



Séance du 23 septembre 1889 -

PRÉSIDENCE DE M. PICARD

M. Candellero donne lecture du rapport des 1^{re} et 2^e sections réunies (voir ci-dessus le compte rendu de la séance du 21 septembre (matin) de ces sections) et des conclusions suivantes proposées à l'assemblée :

“ Il est très utile de se préoccuper, dans l'étude de l'établissement des grands tunnels, et même de certains tunnels placés sur des lignes très fréquentées, comme les lignes métropolitaines, de la question très importante de la ventilation naturelle et artificielle, et cela en raison de la grande difficulté de faire, après coup, les installations nécessaires à cette ventilation.

“ Dans l'étude du tracé des lignes, il sera toujours très important de s'appliquer à n'avoir que de très faibles rampes dans les tunnels; il est nécessaire aussi de prendre tous les moyens pour éviter ou réduire le plus possible le dégagement nuisible de la fumée, des gaz de la combustion et de la vapeur dans les tunnels, même en ayant recours, dans certains cas spéciaux, à des procédés de traction autres que les locomotives ordinaires.

“ En même temps, on ne peut qu'encourager la recherche et le perfectionnement d'appareils permettant efficacement au personnel de franchir sans inconvénient le tunnel et d'y séjourner pour le service. ”

— Ces conclusions sont mises aux voix et adoptées sans discussion.



TABLE DES MATIÈRES

DU

VOLUME I

— 3 * —

| | Pages. |
|--|--------|
| AVANT-PROPOS | V |
| Organisation et ouverture de la troisième session | |
| Règlement de la troisième session | VII |
| Questionnaire | X |
| Membres du Congrès | XVIII |
| Service sténographique. | L |
| Séance solennelle d'ouverture. | LI |
| Installation des sections | LXVII |
| Composition des bureaux | LXXIII |

Travaux préparatoires, discussions et conclusions relatifs aux diverses questions du programme.

QUESTION I, LITTÉRA A. — Qualité du métal des rails et des accessoires de la voie.

| | |
|---|----------|
| Exposé par M. BRICKA | I-A — 3 |
| 1 ^{re} note par M. HALLOPEAU (16 figures). | I-A — 15 |
| 2 ^e — par M. WERCHOVSKY (pl. I). | I-A — 69 |
| Discussion en section | I-A — 86 |
| Discussion en séance plénière et conclusions | I-A — 92 |

QUESTION I, LITTÉRA B. — Usure des rails d'acier.

| | |
|--|-----------|
| Exposé par M. DE BUSSCHERE (fig. 1 à 8 et pl. II et III). | I-B — 3 |
| 1 ^{re} note par l'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ AUSTRO-HONGROISE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT. | I-B — 99 |
| 2 ^e note par l'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GRAND CENTRAL BELGE. | I-B — 101 |
| 3 ^e — — — — — DU GOTHARD | I-B — 105 |
| 4 ^e — — — — — DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE (pl. IV). | I-B — 108 |
| Discussion en section | I-B — 113 |
| — en séance plénière et conclusions | I-B — 128 |
| Annexe A. — Lettre sur les expériences du général Pétroff, par M. L. DE KIS- LANSKI | I-B — 136 |
| — B. — Note sur les expériences de M. de Stetzewitch, par M. N. DE SYTENKO (pl. V et VI). | I-B — 138 |

QUESTION II, LITTÉRA A. — Comparaison des rails à coussinets et des rails à large base

| | |
|---|-----------|
| Exposé par MM. BEMELMANS et BRUNEEL | II-A — 3 |
| Discussion en section | II-A — 44 |
| — en séance plénière et conclusions | II-A — 64 |

QUESTION II, LITTÉRA B. — Fixation des rails Vignoles aux traverses en bois.

| | |
|---|-----------|
| Exposé par M. HOHENEGGER (13 figures) | II-B — 3 |
| Discussion en section | II-B — 34 |
| — en séance plénière et conclusions | II-B — 40 |

QUESTION II, LITTÉRA C. — Éolissage.

| | |
|---|-----------|
| Exposé par M. PIÉRON (28 figures) | II-C — 3 |
| Discussion en section | II-C — 47 |
| — en séance plénière et conclusions | II-C — 52 |

QUESTION II, LITTÉRA D. — Lignes parcourues par des trains rapides.

| | |
|---|-----------|
| Exposé par M. JULES MICHEL | II-D — 3 |
| Discussion en section | II-D — 22 |
| — en séance plénière et conclusions | II-D — 39 |

QUESTION III. — Pose de la voie sur les ponts métalliques.

| | |
|---|----------|
| Exposé par M. RANDICH | III — 3 |
| Discussion en section | III — 22 |
| — en séance plénière et conclusions | III — 34 |

QUESTION IV. — Manœuvre à distance des changements de voie.

| | |
|---|---------|
| Exposé par M. SAROURET | IV — 3 |
| Discussion en section | IV — 19 |
| — en séance plénière et conclusions | IV — 39 |

QUESTION V. — Échange des voitures à voyageurs entre deux voies parallèles.

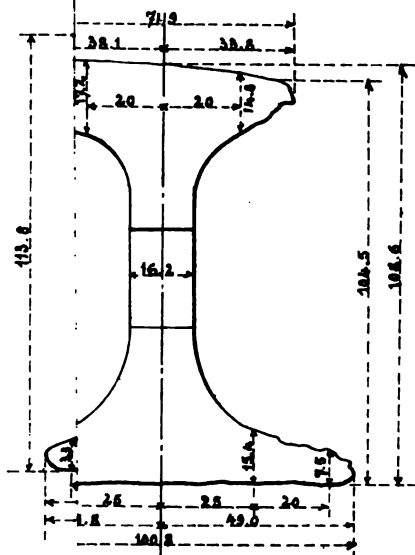
| | |
|---|--------|
| Exposé par M. BRIÈRE | V — 3 |
| Note par M. JULES MICHEL | V — 16 |
| Discussion en sections | V — 18 |
| — en séance plénière et conclusions | V — 38 |

QUESTION VI. — Ventilation des grands tunnels.

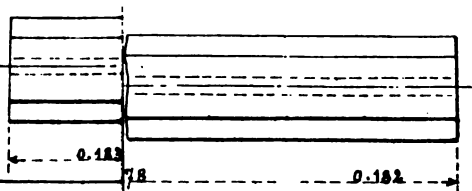
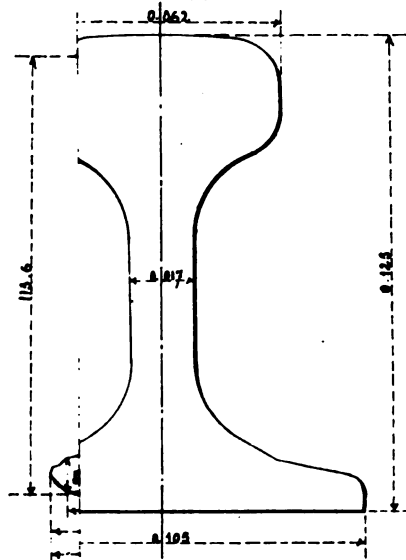
| | |
|---|---------|
| Exposé par M. CANDELLERO | VI — 3 |
| Note par l'ADMINISTRATION DU CHEMIN DE FER DU GOTHARD (pl. VII et VIII) | VI — 55 |
| Discussion en sections | VI — 61 |
| — en séance plénière et conclusions | VI — 80 |

CHEMIN DE FERRÉ
MONT.

COUPE CD.



RAIL NEUF



Légende.

COUPE CD. COUPE AU CENTRE DU 2^e TROU
D'ÉCLISSE

10 EF. COUPE DU RAIL À L'ENDROIT D'UNE
BILLE ET PRISE ENTRE DEUX
CRAMPONS.

10 GH. COUPE PRISE AU MILIEU DE LA
PORTÉE DE DEUX BILLES.

10 KL. COUPE DU RAIL À L'ENDROIT D'UNE
BILLE ET PRISE ENTRE DEUX
CRAMPONS.

10 MN. COUPE PRISE AU MILIEU DE LA
PORTÉE DE DEUX BILLES

10 OP. COUPE DU RAIL À L'ENDROIT D'UNE
BILLE ET PRISE ENTRE DEUX
CRAMPONS.

10 RS. COUPE AU CENTRE DU 2^e TROU
D'ÉCLISSE DE L'EXTRÉMITÉ
OPPOSÉE DU RAIL.

